

THESIS

WÜRZBURG

1967

Aus der Medizinischen Poliklinik der Universität Würzburg

(Direktor: Prof. Dr. H. Franke)

LAMM MEDICAL LIBRARY OF
STANFORD UNIVERSITY
300 PASTEUR ROAD
PALO ALTO, CALIFORNIA

KORRELATIONEN ELEKTROKARDIOGRAPHISCHER UND
VEKTORIELLER MESSGRÖSSEN MIT BLUTDRUCK, KÖRPERBAU
UND LEBENSALTER BEI HYPERTONIKERN

Inaugural-Dissertation

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Karl-Otto *Arenz*
aus Schweinfurt

Würzburg 1967

Aus der Medizinischen Poliklinik der Universität Würzburg
(Direktor: Prof. Dr. H. Franke)

KORRELATIONEN ELEKTROKARDIOGRAPHISCHER UND
VEKTORIELLER MESSGRÖSSEN MIT BLUTDRUCK, KÖRPERBAU
UND LEBENSALTER BEI HYPERTONIKERN

Inaugural-Dissertation

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Karl-Otto Arenz
aus Schweinfurt

Würzburg 1967

Referent: Privat-Dozent Dr. med. R. Juchems

Korreferent: Professor Dr. med. H. Franke

Tag der Promotion: 16.2.68

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität
Würzburg

INHALTSANGABE

	Seite
Einleitung	1
Untersuchungsgut und Methode	3
1. Elektrokardiographische Kriterien	4
2. Vektorielle Kriterien	5
Statistik	9
Ergebnisse	10
I. Mittelwerte	10
II. Korrelationen	17
Gesamtfälle	17
Einfluß der Krankheitsdauer	25
1. Elektrokardiographische Größen	25
2. Vektorielle Kriterien	26
Einfluß des Körperbaus	27
Einfluß des Lebensalters	30
Diskussion	35
Korrelation elektrokardiographischer und vektorieller Kriterien mit dem Blutdruck	40
Korrelation der vektoriellen Kriterien	46
Einfluß des Körperbaues auf die Kriterien	50
Einfluß des Lebensalters auf die Kriterien	52
Zusammenfassung	55
Literaturverzeichnis	58



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153518_0201

EINLEITUNG

Entsprechend der Wichtigkeit und der Häufigkeit der Erkrankungen des Herzens und des Kreislaufs ist die Erkennung der linksventrikulären Hypertrophie als Folge einer essentiellen, renalen, hormonalen oder durch Veränderungen der Kreislaufdynamik bedingten Hypertonie innerhalb der kardiologischen Diagnostik ein aktuelles Problem.

Neben den anamnestischen Hinweisen, dem klinischen Befund und dem Röntgenbild kommt dabei dem Elektrokardiogramm eine besondere Bedeutung zu.

Zu der zunächst rein morphologischen Beschreibung der Kurven und empirischen Deutung des Elektrokardiogramms trat im Laufe der Zeit als wichtige Ergänzung die vektorielle Deutung der elektrischen Phänomene während der Herzaktion, nachdem man erkannt hatte, daß alle auftretenden Potentialschwankungen als Ausdruck eines Integralvektors mit Dipolcharakter aufgefaßt werden können (SCHÄFER 62, SCHÄFER und HAAS 63).

Im direkten Vektorkardiogramm kann man so durch dreidimensionale Registrierung in jedem Zeitpunkt der Herzaktion, der Erregungsausbreitung und der Erregungsrückbildung, die Größe und Richtung des Herzvektors bestimmen.

Auch aus den herkömmlichen Standardableitungen läßt sich die Richtung des Integralvektors mit ausreichender Genauigkeit bestimmen (BÖCKH und SCHÄFER 9, SCHÄFER 62, HOLZMANN 34, SPANG 81). Für die frontale Ebene bedient man sich dabei der Extremitätenableitungen nach Einthoven und der unipolaren Ableitungen nach Goldberger, für die horizontale Ebene der Brustwandableitungen nach Wilson.

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, welchen Einfluß der erhöhte Blutdruck, der Körperbau, das Lebensalter und die Dauer der

Hochdruckkrankheit auf einige häufig zur Diagnose der linksventrikulären Hypertrophie verwendeten QRS-Amplituden und, im Vergleich dazu, auf einige aus dem Elektrokardiogramm errechnete vektorielle Kriterien ausübt.

UNTERSUCHUNGSGUT UND METHODE

Untersucht wurden die Elektrokardiogramme von 100 Patienten der Medizinischen Poliklinik der Universität Würzburg, die wegen einer Hypertonie stationär aufgenommen waren und in der Regel eine Woche lang keine antihypertensive Therapie erhalten hatten. Patienten, bei denen aus der unmittelbaren Vorgeschichte eine Digitalisbehandlung bekannt war, oder in deren Elektrokardiogramm ein Digitaliseffekt vermutet wurde oder erkennbar war, wurden ausgeschieden. Um möglichst nur Elektrokardiogramme bei vorwiegender Hypertrophie des linken Ventrikels und systolischer Belastung (CABRERA und MONROY 15) zu erfassen, wurden die Kurven von Patienten mit Lungenemphysem, angeborenen und erworbenen Herzklappenfehlern nicht eingeschlossen, ebenso solche mit Zeichen eines Schenkelblocks und eines Herzinfarktes. 81 Patienten hatten eine essentielle Hypertonie, 19 Patienten hatten eine renal bedingte Hypertonie.

In der Regel lagen von einem Patienten mehrere Elektrokardiogramme vor, von denen das dem Termin des Klinikeintritts am nächsten liegende verwendet wurde, falls am Eintrittstag keines geschrieben worden war.

Aus den Krankenblättern der Patienten wurde entnommen: Alter, Körperlänge und Körpergewicht. Aus Körperlänge und Gewicht wurde mit Hilfe eines Nomogramms nach LUSKIN und WHIPPLE (46) der sogenannte "ponderal index" bestimmt, ein Index, der als leicht bestimmbarer Ausdruck für den Körperbau dient (LUSKIN und WHIPPLE 46, KILTY und LEPESCHKIN 39, nach SHELDON und Mitarb. 74). Er ist der Quotient aus Körperlänge und dritter Wurzel des Körpergewichts. Diese Größen wurden nach LUSKIN und WHIPPLE in Zoll (inches) und englischen Pfund (pounds) gemessen.

Weiterhin wurde entnommen:

Mittlerer Blutdruck vom 1. Kliniktag (= RR 1. Tag) Mittlerer
Blutdruck = diastolischer Blutdruck + $1/3$ der Blut-
druckamplitude.

Mittlerer Blutdruck vom 3. Kliniktag (= RR 3. Tag)

Diastolischer Blutdruck vom 3. Tag (= RR_d 3. Tag)

Systolischer Blutdruck vom 3. Tag (= RR_s 3. Tag) .

Aus dem Elektrokardiogramm mit den Ableitungen nach Einthoven,
Wilson und Goldberger wurden folgende Amplituden und Vektoren
bestimmt:

1. Elektrokardiographische Kriterien

Aus den Extremitätenableitungen: $R_I + S_{III}$,

aus den Brustwandableitungen: Größtes R in V_1 bis V_6 (= R_{max})
Größtes S in V_1 bis V_6 (= S_{max})
Größtes R + Größtes S (= $R_{max} + S_{max}$)
Größtes R + S (derselben Ableitung)
(= $R_{max} + S$)
R in V_5 (= RV_5)
R in V_6 (= RV_6)
S in V_1 (= SV_1)
S in $V_1 + RV_{5/6}$, je nachdem, ob
 RV_5 oder RV_6 größer ist
(= $SV_1 + RV_{5/6}$)

Ausschläge nach oben wurden vom oberen Rand der isoelektrischen
Linie bis zum höchsten Punkt des Ausschlags, nach unten vom unteren
Rand bis zum tiefsten Punkt gemessen. Es wurden jeweils mehrere
QRS-Komplexe ausgemessen und bei unterschiedlichen Ausschlägen
ein Mittelwert gebildet. Unter Berücksichtigung der Eichzacke
wurden die Ausschläge in $1/10$ Millivolt umgerechnet.

2. Vektorielle Kriterien

Für die vektorielle Betrachtung des Elektrokardiogramms wurden folgende aus den Standardableitungen zu bestimmende Größen herangezogen:

Der Winkel des Flächenvektors von QRS in der

frontalen Projektion $(= \hat{A} \text{ QRS}_f)$

Der Winkel des Flächenvektors von T in der

frontalen Projektion $(= \hat{A} \text{ T}_f)$

Der Winkel zwischen den beiden Flächenvektoren von QRS und T

in der frontalen Projektion $(= \hat{A} \text{ QRS}_f - \hat{A} \text{ T}_f)$

Der Winkel des Flächenvektors von QRS in der

horizontalen Projektion $(= \hat{A} \text{ QRS}_h)$

Der Winkel des Flächenvektors von T in der

horizontalen Projektion $(= \hat{A} \text{ T}_h)$

Der Winkel zwischen den beiden Flächenvektoren von QRS und T

in der horizontalen Projektion $(= \hat{A} \text{ QRS}_h - \hat{A} \text{ T}_h)$

Die Länge des QRS-Flächenvektors

in der horizontalen Projektion $(= \text{Länge } \hat{A} \text{ QRS}_h)$

Die Länge des T-Flächenvektors

in der horizontale Projektion $(= \text{Länge } \hat{A} \text{ T}_h)$

Der Raumwinkel.

Wie von JUCHEMS (36, 37) in Anlehnung an MASSIE und WALSH (48) ausgeführt, wurde aus den Standardableitungen der mittlere räumliche Vektor von QRS und T bzw. ihre frontale und horizontale Projektion bestimmt. Für die frontale Projektion wurde in den Ableitungen I, III, aVF und aVL unter Berücksichtigung der Eichzacke die Fläche jeder Komponente von QRS und die Fläche von T bestimmt,

die das Zeit-Spannungs-Integral während QRS und T darstellt. Flächen oberhalb der isoelektrischen Linie erhalten positives Vorzeichen, solche unterhalb der isoelektrischen Linie negatives Vorzeichen. Positive und negative Teilflächen werden algebraisch addiert. Die QRS-Flächen wurden mit Hilfe der Dreiecks-Formel (Grundfläche mal Höhe, dividiert durch zwei) ermittelt, das Zeit-Spannungs-Integral der T-Zacke wurde ausgezählt, wenn nötig bei Lupenvergrößerung. Null-Linie für die QRS-Zacke war die P-Q-Strecke, für die T-Zacke die T-P-Strecke (48).

Die erhaltenen Flächenwerte (Einheit : Millivoltsekunde) wurden auf den entsprechenden positiven oder negativen Halbachsen des hexachsisalen Bezugssystems für die frontale Ebene aufgetragen (Abb. 1) und durch die erhaltenen Punkte Senkrechte auf die betreffenden Achsen errichtet. Die Linie, die den Mittelpunkt des Bezugssystems mit dem Schnittpunkt dieser Senkrechten verbindet, repräsentiert die Richtung des mittleren frontalen QRS- und T-Vektors.

Für die horizontale Projektion wurden die Flächen von QRS und T auf die gleiche Art aus den Ableitungen V_2 und V_6 errechnet bzw. ausgezählt und in dem entsprechenden Bezugssystem die Vektorprojektion auf die horizontale Ebene dargestellt.

Die Lage der Vektoren in beiden Projektionen wurde in Winkelgrad gemessen.

Da beabsichtigt war, die Flächenvektoren aus den herkömmlichen Ableitungen zu berechnen, wurde die Bestimmung der T-Vektorprojektionen in der Horizontalen nicht anhand der Übergangszonen durchgeführt, sondern die Flächen der T-Zacken bestimmt, wie in der frontalen Projektion, da andernfalls die Übergangszone für T in manchen Fällen nur durch zusätzliche Brustwandableitungen hätte erfaßt werden können.

Nach den Angaben von HELM und FOWLER (33) wurde schließlich noch der Raumwinkel bestimmt, der Winkel, den der mittlere QRS-Vektor mit dem T-Vektor einschließt.

Aus den erhaltenen Zahlen wurden durch eine elektronische Rechenmaschine Mittelwerte, Standardabweichung und mittlere Abweichung der Mittelwerte für jede Zahlenreihe errechnet und die Reihen miteinander korreliert und die Korrelationsfaktoren als Maß für den Grad der Korrelation der Reihen untereinander bestimmt.

Anhand von Tabellen (DOCUMENTA GEIGY 18) wurde die Signifikanz der Korrelationsfaktoren geprüft.

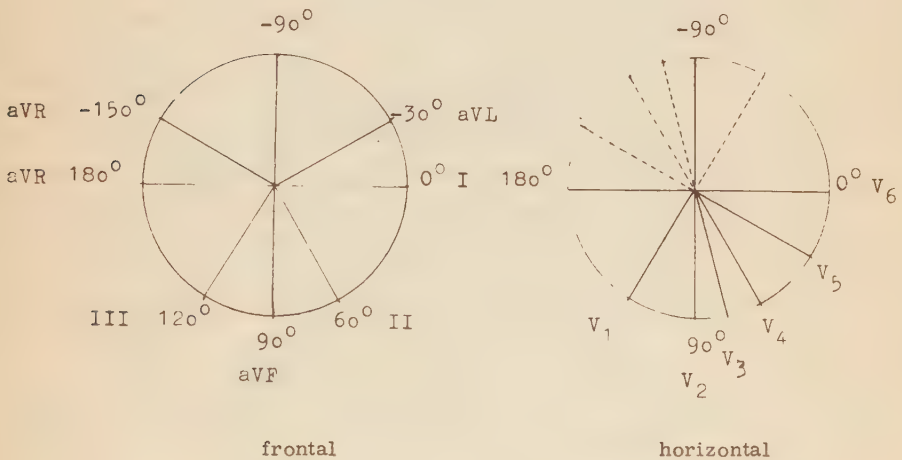


Abb. 1: Bezugssystem für die frontale und horizontale Ebene.

Die Korrelation wurde ermittelt

- 1) für die gesamten 100 Fälle,
- 2) getrennt für eine daraus gebildete Gruppe A von 44 Fällen mit einer Krankheitsdauer der Hypertonie (anamnestisch) bis 5 Jahre
- 3) und für eine Gruppe B von 25 Fällen mit einer Krankheitsdauer über 5 Jahre.

In beiden Gruppen sind vorwiegend essentielle Hypertonien vertreten.

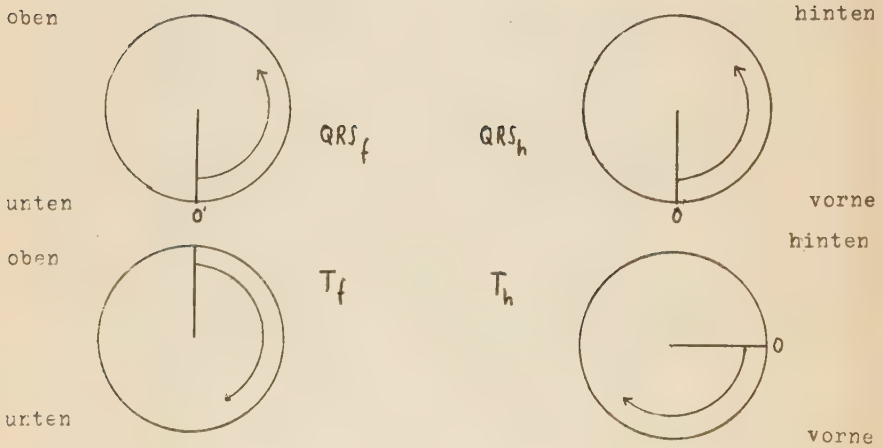


Abb. 2:

Erläuterung der Zählweise der Vektorrichtungen. Für die Korrelationsrechnung können nur Werte mit einheitlichem Vorzeichen verwendet werden.

Statistik

Die verwendeten Formeln und Begriffe sind:

$$\bar{x} = \text{Mittelwert} = \frac{S(x)}{n}$$

$$s = \text{Standardabweichung} = \sqrt{\frac{S(x-\bar{x})^2}{n-1}}$$

$$s_m = \text{mittlere Abweichung des Mittelwertes} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$r = \text{Korrelationskoeffizient} = \frac{S(xy)}{\sqrt{S(x-\bar{x})^2 \cdot S(y-\bar{y})^2}}$$

Die Signifikanz der Korrelationskoeffizienten wurde mit der Hilfe von Tabellen geprüft (Dokumenta Geigy 18).

Zur Verdeutlichung wurde für manche Kriterien und Vektoren der Regressionskoeffizient bestimmt und die Regressionsgerade in die Punktdiagramme eingezeichnet.

Berechnung des Regressionskoeffizienten: b_{yx}

$$b_{yx} = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

$$S_x = s_x^2 \cdot (n-1)$$

$$S_{xy} = r \cdot \sqrt{S_x \cdot S_y}$$

$$S_y = s_y^2 \cdot (n-1)$$

Will man den Einfluß einer Variablen ausschalten, macht man von der Methode der partiellen Korrelation Gebrauch.

Ist z. B. "z" die Variable, deren Einfluß man ausschalten will, so ist:

$$r_{xy \cdot z} = \frac{r_{xy} - r_{xz} \cdot r_{yz}}{\sqrt{(1-r_{xz}^2) \cdot (1-r_{yz}^2)}}$$

Der Freiheitsgrad vermindert sich für die Signifikanzberechnung um 1.

$$f = (n-2-1)$$

Soll noch eine zweite Variable ausgeschaltet werden, wird ebenso verfahren.

ERGEBNISSE

I. MITTELWERTE

Die Mittelwerte für den Blutdruck bei den Gesamtfällen und den beiden Untergruppen zeigt die Tabelle 1.

	Alle	A	B
1. Tag: mittlerer Blutdruck	149,4	151,7	153,0
3. Tag: mittlerer Blutdruck	141,7	143,4	146,3
" : systolischer Blutdruck	192,7	193,9	202,2
" : diastolischer Blutdruck	116,2	118,3	118,2

Tabelle 1:

Mittelwerte des Blutdrucks für die gesamten 100 Fälle
Gruppe A (44 Fälle mit einer Krankheitsdauer bis 5 Jahre)
Gruppe B (25 Fälle mit einer Krankheitsdauer über 5 Jahre)
Werte in mm Hg.

Der mittlere Blutdruck ist am 3. Tag bei den Gesamtfällen wie in den Untergruppen 7-8 mm Hg niedriger als am Aufnahmetag. Dieser Befund entspricht den allgemeinen Erfahrungen über das Verhalten des Blutdrucks nach Klinikaufnahme bzw. Bettruhe (BRUGISSER und GERTSCH 14). In der Gruppe mit langdauernder Hypertonie liegen die Werte für den mittleren Blutdruck geringfügig, für den systolischen um etwa 8 mm Hg höher als bei kürzerer Krankheitsdauer. Der diastolische Druck ist in beiden Gruppen gleich.

In der Tabelle 2 sind die Mittelwerte der elektrokardiographischen Kriterien aufgeführt, in der Tabelle 3 zusammen mit den aus der Literatur bekannten Normalwerten bei Gesunden.

	M	<u>+</u> S	M	<u>+</u> S	M	<u>+</u> S
$R_I + S_{III}$	15,06	8,52	14,59	8,46	16,64	6,13
SV_1	14,25	5,74	15,68	6,11	13,68	5,12
RV_5	22,18	8,35	23,84	9,27	23,60	7,00
RV_6	16,39	7,56	17,03	7,34	16,96	6,32
$SV_1 + RV_{5/6}$	36,60	12,68	39,52	13,43	37,52	10,79
Größtes R	25,42	9,42	26,14	9,53	26,42	8,26
Größtes S	19,32	7,52	20,77	7,13	19,46	7,61
Größtes R + Gr. S	44,64	15,50	46,91	14,28	45,46	11,62
Größtes R + S	31,47	11,69	32,74	11,44	33,68	10,73

Tabelle 2:

Mittelwerte und Standardabweichung der QRS-Amplituden für die gesamten 100 Fälle (Spalte 1 und 2) sowie für die Untergruppen A (Spalte 3 und 4) und B (Spalte 5 und 6). Werte in 1/10 Millivolt. Mittelwert = M, Standardabweichung = S.

Die Mittelwerte liegen durchweg über den Normalwerten für Gesunde soweit solche vorliegen (siehe Tabelle 3). Ein echter Unterschied zwischen der Gruppe A (Hypertonie unter 5 Jahre) und B (Hypertonie über 5 Jahre) läßt sich für keines der QRS-Kriterien nachweisen. Die Unterschiede wurden mit dem t-Verfahren in der Anwendung nach LINDER (45) geprüft.

Kriterium		Mittelwerte von 100 Hypertonikern	Normalwerte
GUBNER (29)	$R_1 + S_3$	$\geq 2.5 \text{ mV}$	$0.8 \pm 0.4 \text{ mV}$
	$R_{\max}$	$1.51 \pm 0.9 \text{ mV}$	KILTY (39)
	$S_{\max}$	$2.54 \pm 0.9 \text{ mV}$	
	$R_{\max} + S_{\max}$	$1.93 \pm 0.8 \text{ mV}$	
McPHIE (50)	$R_{\max} + S_{\max}$	$3.15 \pm 1.2 \text{ mV}$	$2.4 \pm 0.5 \text{ mV}$
	$R_{\max}$	$4.46 \pm 1.5 \text{ mV}$	$3.2 \pm 0.7 \text{ mV}$
	$S_{\max}$		KILTY (39)
KOSSMANN(41)	$\geq 4.0 \text{ mV}$		
	$\geq 3.5 \text{ mV}$		
SOKOLOV (80)	RV_5	$\geq 2.6 \text{ mV}$	$1.75 \pm 0.5 \text{ mV}$
	RV_6	$1.64 \pm 0.8 \text{ mV}$	MANNING (47)
SYMONS (83)	SV_1	$\geq 1.5 \text{ mV}$	$0.9 \pm 0.4 \text{ mV}$
	$SV_1 + RV_{5/6}$	$\geq 3.5 \text{ mV}$	$2.6 \pm 0.4 \text{ mV}$
SOKOLOV (80)			KILTY (39)

Tabelle 3:

Elektrokardiographische Kriterien bei Hypertrophie des linken Ventrikels. Mittelwerte mit Standardabweichung bei 100 Hypertonikern neben den in der Literatur angegebenen Normalwerten bei Gesunden. Werte in Millivolt.

Die Mittelwerte der aus dem Elektrokardiogramm bestimmten vektoriellen Kriterien zeigt die Tabelle 4. Die Unterschiede der Werte zwischen den Gruppen A und B wurden auch hier mit dem t-Verfahren geprüft (LINDER 45).

Horizontal				Diff.	t	p
$\hat{A} \text{ QRS}_h$	-40	-43	-38	-	-	-
$\hat{A} T_h$	87	83	102	19,7	2,76	0,01
$\hat{A} \text{ QRS} - \hat{A} T_h$	127	125	140	-	-	-
Frontal						
$\hat{A} \text{ QRS}_f$	19	27	6	20,1	2,63	0,05
$\hat{A} T_f$	76	64	115	51,3	3,3	0,01
$\hat{A} \text{ QRS} - \hat{A} T_f$	72	57	114	56,7	3,46	0,001
Raumwinkel	112	108	130	22,5	2,93	0,01
Länge der mittleren Vektoren in der Horizontalebene						
QRS-Vektor	24,9	27,3	26,2	-	-	-
T-Vektor	13,3	14,3	13,9	-	-	-

Tabelle 4:

Mittelwerte der vektoriellen Kriterien für die gesamten 100 Fälle und die Gruppen A (Krankheitsdauer unter 5 Jahren) und B (Krankheitsdauer über 5 Jahre). Die Differenz zwischen A und B wurde nur dann aufgeführt, wenn p, das Maß für die Signifikanz der Differenz, kleiner als 0,05 war.

4. Spalte: Differenz zwischen A und B,
5. Spalte: t,
6. Spalte: Werte von p. Winkelmessung in Grad.

Vektorlänge in Einheiten von $2\mu \text{ Vsec}$ (Mikrovoltsekunden).

Tabelle 5 stellt die Winkel der Flächenvektoren und den Raumwinkel bei Hypertonie neben die bei MASSIE und WALSH (48) angegebenen Normalwerte sowie eigene Normalwerte, die aus den Elektrokardiogrammen von 40 Patienten ermittelt wurden, die unter Berücksichtigung der Anamnese, des Röntgenbildes und Laborbefundes sowie nach eingehender klinischer Untersuchung als gesund beurteilt wurden.

	Werte bei Gesunden		bei Hypertonikern		
	MASSIE u. WALSH	Eigene Normal- fälle	Alle	A	B
$\hat{A} \text{ QRS}_h$	-20	-30	-40	-43	-38
$\hat{A} \text{ T}_h$	40	50	87	83	102
$\hat{A} \text{ QRS}_f$	50	50	20	26	6
$\hat{A} \text{ T}_f$	40	40	75	63	115
Raumwinkel	60	70	112	107	130

Tabelle 5:

Flächenvektoren und Raumwinkel bei Gesunden und Hypertonikern. Angaben in Winkelgrad, Winkel ohne Vorzeichen sind positiv.

Nach MASSIE (48) liegt der mittlere QRS-Vektor in der horizontalen Ebene bei gesunden Personen im Mittel bei -20° und der T-Vektor bei $+40^\circ$. Bei unseren Normalfällen liegt $\hat{A} \text{ QRS}_h$ bei -30° und $\hat{A} \text{ T}_h$ bei $+50^\circ$. Die Flächenvektoren in der frontalen Ebene stimmen bei den gesunden Personen mit den von uns gefundenen überein. Bei 100 Hypertonikern finden wir für QRS in der Horizontalen -40° und in der Frontalen $+20^\circ$. Der QRS-Vektor rotiert also nach hinten und verläuft mehr horizontal. Der T-Vektor liegt in der Horizontalen bei $+87^\circ$ und

in der Frontalen bei $+75^{\circ}$, er rotiert also nach vorne und verläuft steiler nach abwärts. Der Winkel zwischen den mittleren QRS- und T-Vektoren vergrößert sich demnach in beiden Projektionen und somit auch der Raumwinkel, der im Durchschnitt auf 112° anwächst. Diese Vergrößerung geht in erster Linie auf die Veränderung des T-Vektors in der frontalen und horizontalen Ebene zurück und erst in zweiter Linie auf Rotation des Flächenvektors von QRS.

Bedeutsame Unterschiede zwischen den beiden Gruppen mit unter und über fünfjähriger Dauer der Hypertonie finden sich für die Horizontalebene für die Richtung des T-Flächenvektors, der bei langer Krankheitsdauer um etwa 20° weiter nach vorne rechts rotiert. Das bedingt, daß bei praktisch unveränderter Lage von $\hat{A} \text{ QRS}_h$ der Winkel zwischen QRS und T in der Horizontalen bei Gruppe B größer ist als bei Gruppe A mit kürzerer Dauer der Hypertonie. In der Frontalebene finden sich zwischen beiden Gruppen noch stärkere Unterschiede. In Gruppe B mit langer Krankheitsdauer ist der Winkel des QRS-Vektors um 20° kleiner und der Vektor verläuft somit fast horizontal, der Winkel von T ist um 50° größer, T ist nach rechts unten gerichtet. Der Winkel zwischen QRS- und T-Vektor in dieser Projektion ist deshalb bei langer Krankheitsdauer doppelt so groß wie bei kurzer Dauer. Der Raumwinkel ist ebenfalls weiter vergrößert.

Über die Lage der Flächenvektoren bei Gesunden und Hypertonikern orientiert die Abbildung 3.

Zusammenfassend kann demnach gesagt werden:

Bei Hypertonikern zeigt

der mittlere QRS-Vektor mehr nach links hinten und der Waagrechten angenähert als bei Gesunden;

der mittlere T-Vektor mehr nach vorne und steiler abwärts, mit der Tendenz nach rechts.

Die Winkel zwischen den Flächenvektoren von QRS und T sind in beiden Projektionen vergrößert und

der räumliche Winkel zwischen QRS- und T-Vektoren ist größer als bei Gesunden.

Diese Veränderungen sind, mit einer Ausnahme bei QRS in der Horizontalen, bei langdauernder Hypertonie stärker ausgeprägt als bei kurzer Krankheitsdauer.

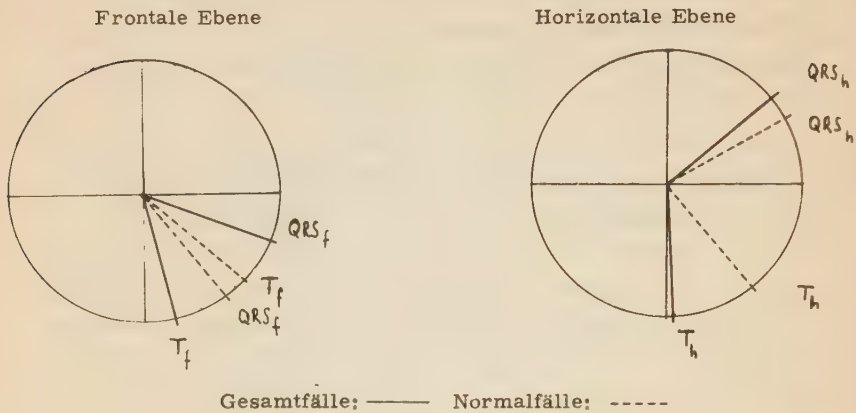


Abb. 3:

Mittlere QRS- und T-Vektoren bei Gesunden und Hypertonikern.

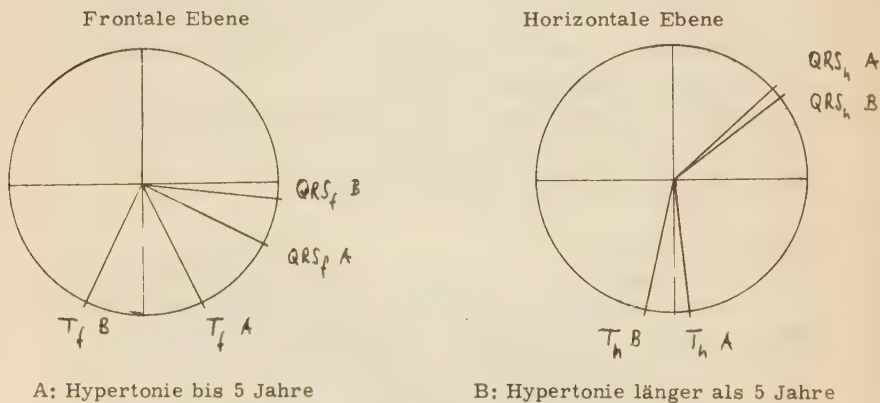


Abb. 4:

Flächenvektoren in der frontalen und horizontalen Ebene bei Hypertonikern.

II. KORRELATIONEN

Gesamtfälle:

- 1) Für jedes der elektrokardiographischen Kriterien fand sich eine statistisch gesicherte Korrelation mit wenigstens einer der vier untersuchten Blutdruckreihen.

EKG	$S_{\max}$	0.42 ...	1
	$R_I + S_{III}$	0.37 ...	2
	$R_{\max} + S$	0.36 ...	1
	$R_{\max} + S_{\max}$	0.36 ...	1
	SV_1	0.35 ...	4/1
	$SV_1 + RV_{5/6}$	0.31 ..	1
	$R_{\max}$	0.22 .	1
	RV_5	0.22 .	1
	RV_6	0.21 .	3
Vektoriell	$\hat{A} T_h$ -Länge	0.44 ...	2
Zeichen:	$\hat{A} QRS_h$ -Länge	0.42 ...	2
$p < 0.05 = .$	Raumwinkel	0.40 ...	1
$p < 0.01 = ..$			
$p < 0.001 = ...$	$\hat{A} QRS_h - \hat{A} T_h$	0.40 ...	4
1 = mittlerer Blutdruck 1. Tag	$\hat{A} QRS_f - \hat{A} T_f$	0.39 ...	4
2 = mittlerer Blutdruck 3. Tag	$\hat{A} T_h$	0.38 ...	4
3 = diastolischer Blutdr. 3. Tag	$\hat{A} T_f$	0.36 ...	4
4 = systolischer Blutdr. 3. Tag	$\hat{A} QRS_f$	0.20 .	3

Tabelle 6:

Korrelationskoeffizienten der elektrokardiographischen und vektoriellen Merkmale mit der jeweils am besten korrelierten Blutdruckreihe bei den Gesamtfällen. Zur Zählweise der Winkel siehe Abbildung 2.

Die Tabelle 6 zeigt die einzelnen Werte und ihre Bedeutsamkeit (= p). Die signifikanten Korrelationskoeffizienten liegen zwischen 0.22 ($p < 0.05$) und 0.42 ($p < 0.001$). Die engste Beziehung besteht zwischen der Amplitude des größten S und dem mittleren Blutdruck am Aufnahmetag. Nur schwach ist die Korrelation mit dem größten R, R in V_5 und R in V_6 . Die beste Beziehung der Kriterien aus den präkordialen Ableitungen fand sich jeweils zum mittleren Druck am Aufnahmetag (außer SV_1 und RV_6). Zum mittleren Blutdruck vom 3. Tag ist die Beziehung etwas weniger eng.

- 2) Für die aus dem Elektrokardiogramm errechneten vektoriellen Größen ist die Korrelation mit dem Blutdruck enger. Die Abweichung des horizontalen QRS-Vektors nach hinten zeigt keine Beziehung zur Blutdruckhöhe, die Anhebung des frontalen QRS-Vektors nur eine sehr schwache zum diastolischen Druck (3. Tag), r ist 0.2 und p gerade kleiner als 0.05. Der Raumwinkel und die Winkel zwischen den QRS- und T-Flächenvektoren in der frontalen und horizontalen Ebene sind mit $r = 0.4, 0.39$ und 0.4 mit dem mittleren Druck am Aufnahmetag bzw. dem systolischen Druck (QRS-T-Winkel horizontal und frontal) korreliert. Dabei ist p kleiner als 0.001. Beim Vergleich der Blutdruckreihen fällt auf, daß die Korrelation mit dem diastolischen Druck (3. Tag) fast durchweg die schlechteste ist (außer $\hat{A} QRS_f$) und jedenfalls die mit dem systolischen Druck enger ist.

z. B. :	RR_d	RR_s
$\hat{A} QRS_f - \hat{A} T_f$	0.21	0.39
Raumwinkel	0.24	0.37
$\hat{A} QRS_h - \hat{A} T_h$	0.29	0.40

Die Länge des horizontalen QRS- und T-Vektors, die die beste Korrelation einer aus dem Elektrokardiogramm bestimmten Größe mit dem

arteriellen Blutdruck zeigt, ist mit jeder der vier Blutdruckreihen signifikant korreliert. An erster Stelle steht dabei der mittlere Druck am 3. Tag. Die Korrelationskoeffizienten liegen zwischen 0.37 und 0.44.

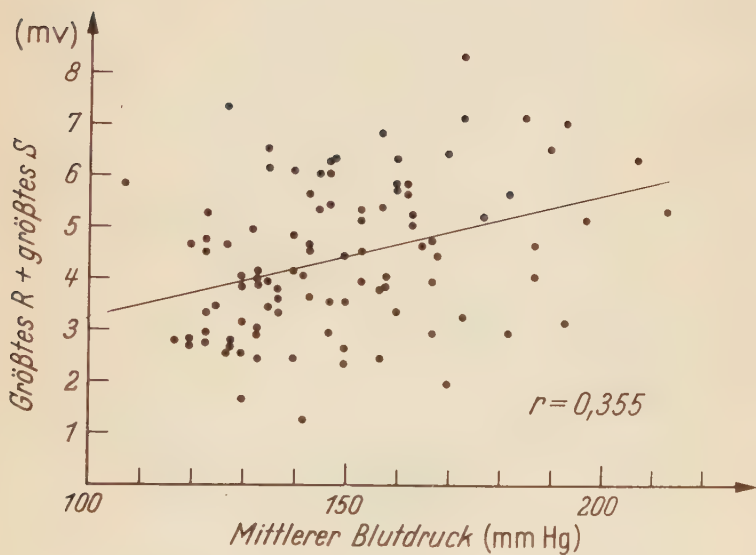


Abbildung 5:

Größtes R + Größtes S und mittlerer Blutdruck am 1. Kliniktag.

Regressionsgerade: $y = 9.37 + 0.2361 \cdot x$

$r = 0.355$ (Korrelationskoeffizient)

$p < 0.001$ (Irrtumswahrscheinlichkeit)

$n = 100$ (Gesamtfälle)

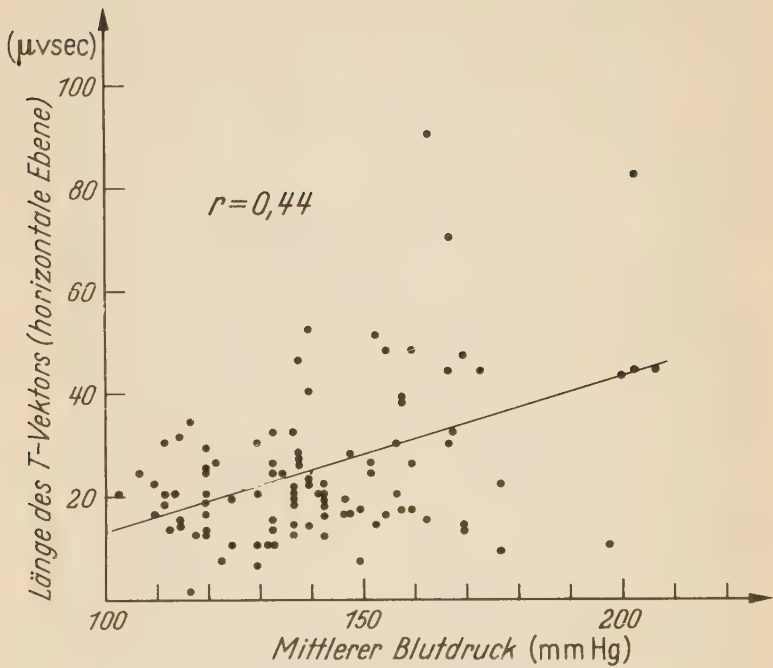


Abbildung 6:

Länge des horizontalen T-Vektors und mittlerer Blutdruck
am 3. Kliniktag.

Regressionsgerade: $y = -13.18 + 0.2804 \cdot x$

$r = 0.44$ (Korrelationskoeffizient)

$p < 0.001$ (Irrtumswahrscheinlichkeit)

$n = 100$ (Gesamtfälle)

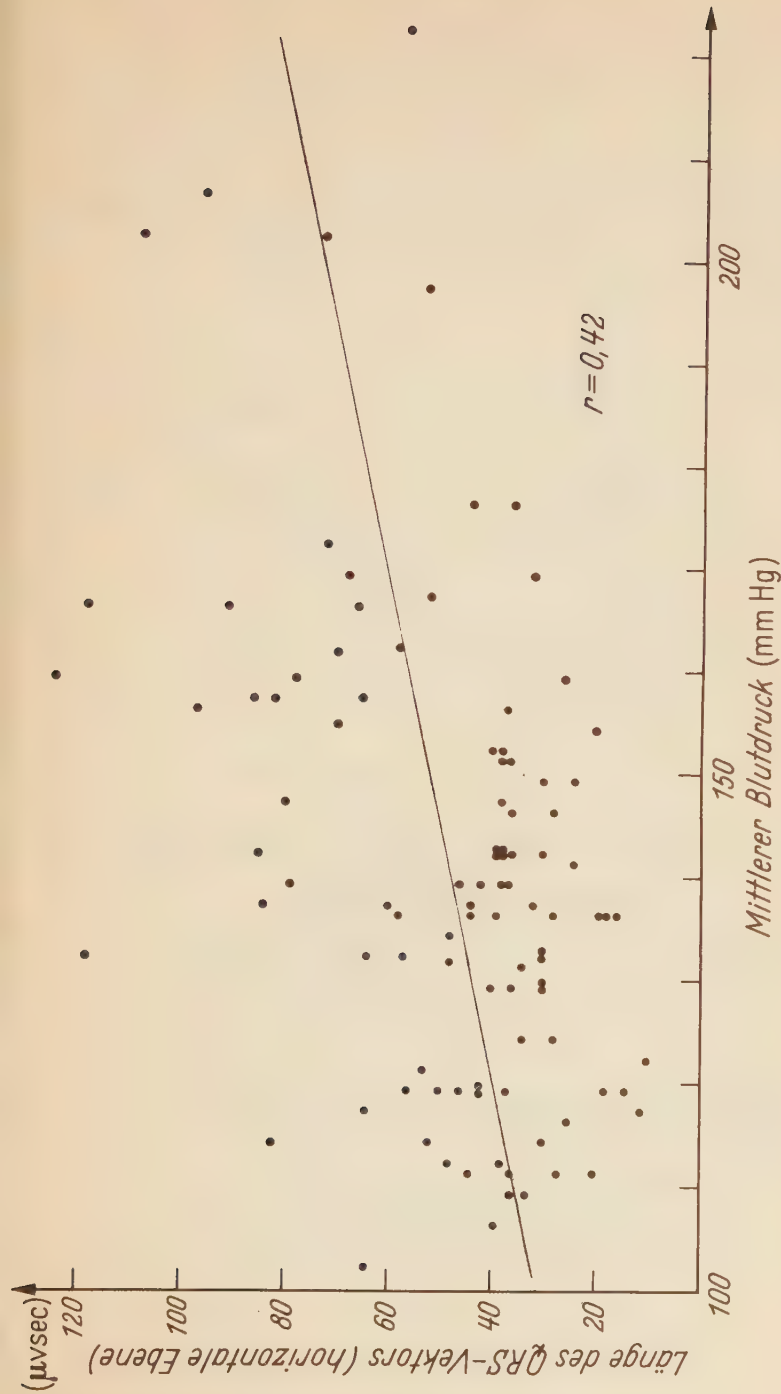


Abbildung 7:

Länge des horizontalen QRS-Vektors und mittlerer Blutdruck am 3. Kliniktag.

Regressionsgerade: $y = -9,38 + 0,4175x$ $r = 0,43$ (Korrelationskoeffizient)
 $p < 0,001$ (Irrtumswahrscheinlichkeit)

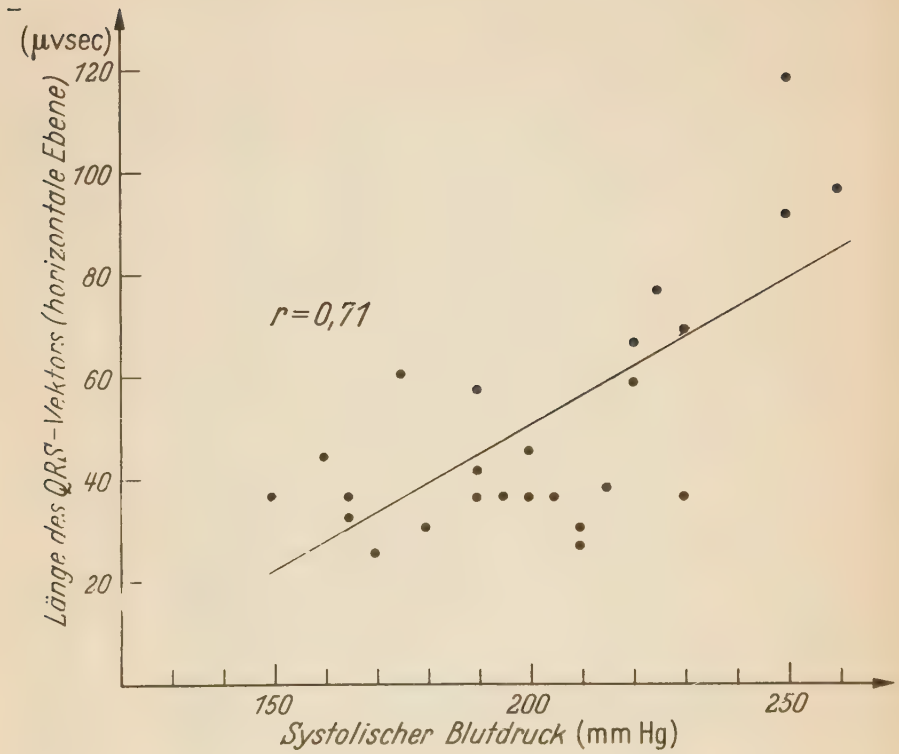


Abbildung 8:

Länge des horizontalen QRS-Vektors und systolischer Blutdruck.

Regressionsgerade: $y = -63.9 + 0.574x$

$r = 0.71$ (Korrelationskoeffizient)

$p < 0.001$ (Irrtumswahrscheinlichkeit)

$n = 25$ (Gruppe B mit Hypertonie länger als 5 Jahre)

GRUPPE A

Patienten mit einer Krankheitsdauer bis 5 Jahre

EKG Nur für folgende drei Kriterien fand sich eine gesicherte Korrelation mit dem Blutdruck:

$R_I + S_{III}$	0.44 ..	3
S_{max}	0.44 ..	1
$R_{max} + S$	0.39 ..	1

Vektoriell $\hat{A} QRS_f$	0.43 ..	3
$\hat{A} QRS_h - \hat{A} T_h$	0.40 ..	2
$\hat{A} QRS_h - \text{Länge}$	0.38 .	1
Raumwinkel	0.36 .	1
$\hat{A} T_h - \text{Länge}$	0.35 .	2
$\hat{A} T_h$	0.32 .	2
$\hat{A} QRS_f - \hat{A} T_f$	0.30 .	1/4

Tabelle 7:

Korrelationskoeffizienten der elektrokardiographischen und vektoriellen Merkmale mit der jeweils am besten korrelierten Blutdruckreihe bei den Fällen der Gruppe A (Krankheitsdauer unter 5 Jahre).

Zeichen: $p < 0.05$ = . 1 = mittlerer Blutdruck 1. Tag
 $p < 0.01$ = .. 2 = mittlerer Blutdruck 3. Tag
 $p < 0.001$ = ... 3 = diastol. Blutdruck 3. Tag
4 = systol. Blutdruck 3. Tag

GRUPPE B

Patienten mit einer Krankheitsdauer über 5 Jahre

EKG	SV_1	0.47 .
	S_{max}	0.43 .
	RV_6	0.41 .
	$SV_1 + RV_{5/6}$	0.40 .
Vektoriell	$\hat{A} \text{ QRS}_h - \text{Länge}$	0.71 ...
	$\hat{A} \text{ T}_h - \text{Länge}$	0.64 ...
	$\hat{A} \text{ T}_f$	0.56 ..
	Raumwinkel	0.54 ..
	$\hat{A} \text{ QRS}_f - \hat{A} \text{ T}_f$	0.54 ..
	$\hat{A} \text{ QRS}_h - \hat{A} \text{ T}_h$	0.53 ..
	$\hat{A} \text{ T}_h$	0.48 .

Tabelle 8:

Korrelationskoeffizienten der elektrokardiographischen und vektoriellen Merkmale mit der jeweils am besten korrelierten Blutdruckreihe bei den Fällen der Gruppe B = Krankheitsdauer länger als 5 Jahre.

Zeichen:	$p < 0.05$	= .
	$p < 0.01$	= ..
	$p < 0.001$	= ...

SV_1 zeigt die beste Korrelation mit dem mittleren Druck vom 1. Tag, die übrigen Kriterien, soweit überhaupt signifikant, mit dem systolischen Druck vom 3. Tag. Die vektoriellen Kriterien zeigen die beste Korrelation ausnahmslos mit dem systolischen Druck am 3. Kliniktag. Die Beziehung dieser vektoriellen Zeichen zum Blutdruck ist beträchtlich enger als die der gebräuchlichen QRS-Amplituden.

Einfluß der Krankheitsdauer

Berücksichtigt man die aus der Anamnese ersichtliche Dauer der Hypertonie, so findet man, daß die Beziehung mancher Kriterien zum Blutdruck von der Dauer der Krankheit beeinflußt wird. Die Tabellen 7 und 8 zeigen die Korrelationskoeffizienten der Gruppen A und B. Die Grenze der 5 %-Irrtumswahrscheinlichkeit liegt in der Gruppe A bei $r = 0.30$ und in Gruppe B bei $r = 0.40$.

Vergleich der einzelnen Zeichen in beiden Untergruppen:

1) Elektrokardiographische Größen:

	A	p	B	
$R_I + S_{III}$	0.44	$p < 0.01$	0.33	nicht signifikant
Größtes R + S	0.39	$p < 0.01$	-0.12	nicht signifikant

Die Korrelation dieser beiden Summen mit dem Blutdruck besteht also nur bei höchstens 5jähriger Krankheitsdauer, bei längerer Dauer ist sie nicht mehr nachweisbar.

Praktisch unverändert ist die Korrelation bei dem Merkmal

	A	p	B	p
Größtes S	0.44	$p < 0.01$	0.43	$p < 0.05$

Bei allen anderen Merkmalen wird die Korrelation mit dem Blutdruck bei lang dauernder Hypertonie enger. Diese Tendenz ist allgemein, wenn auch die 5 %-Grenze der Irrtumswahrscheinlichkeit in Gruppe B ($n = 25$) nicht immer unterschritten wird.

	A	p	B	p
SV_1	0.26	nicht signifikant	0.47	$p < 0.05$
RV_6	0.08	nicht signifikant	0.41	$p < 0.05$
$SV_1 + RV_{5/6}$	0.21	nicht signifikant	0.40	$p < 0.05$

Für diese drei Merkmale besteht also in Gruppe A keine gesicherte Beziehung, wohl aber in Gruppe B mit langdauernder Hypertonie.

2) Für die vektoriellen Kriterien gilt ähnliches:

a) Die Beziehung zwischen Blutdruck und Richtung des frontalen und horizontalen QRS-Flächenvektors wird bei längerer Krankheit noch lockerer und ist nicht mehr signifikant.

b) Bei den Merkmalen $\hat{A} T_h$
 $\hat{A} T_f$
 $\hat{A} QRS_h - \hat{A} T_h$
 $\hat{A} QRS_f - \hat{A} T_f$
 Raumwinkel

fällt auf, daß bei langdauernder Hypertonie zum diastolischen Blutdruck keine Beziehung besteht, die Koeffizienten gehen z. B. für den Winkel zwischen dem horizontalen QRS- und T-Vektor von $r = 0.37$ ($p < 0.05$) auf $r = 0.08$ (nicht signifikant) in Gruppe B zurück. Dagegen nehmen in all diesen Fällen die Werte für den systolischen Druck zu und nur für diesen sind sie sicher von Null verschieden.

c) Mit einem Koeffizienten von 0.71 ($p < 0.001$) ist die Beziehung zwischen der Länge des horizontalen QRS-Flächenvektors und dem systolischen Blutdruck die engste überhaupt beobachtete totale Korrelation zwischen einer aus dem Elektrokardiogramm abgeleiteten Größe und dem arteriellen Blutdruck. Der Unterschied dieses Koeffizienten zu dem entsprechenden in der Gruppe mit höchstens fünfjähriger Krankheitsdauer ($r = 0.71$ zu $r = .22$) ist der einzige, der sich mit einem von R. A. FISHER (23) angegebenen Prüfverfahren, welches sich der sogenannten z-Transformation des Korrelationskoeffizienten bedient, statistisch sichern läßt. Die Differenz der transformierten Koeffizienten muß ihren doppelten Standardfehler überschreiten. Hier: $D(z_1 - z_2) = 0.66 \pm 0.26$.

Einfluß des Körperbaus

Die Tabelle 9 zeigt, daß einige Kriterien, und zwar vorwiegend elektrokardiographische, eine signifikante Korrelation mit dem Ponderal-Index (P. I.) aufweisen. Diese Beziehung ist bei einigen QRS-Amplituden sogar enger als die zum Blutdruck.

	Gesamtfälle		Gruppe A		Gruppe B	
	P. I.	(RR)	P. I.	(RR)	P. I.	(RR)
$R_{\max}$	0.50 ...	(0.22)	0.48 ..	-	-	-
$R_{\max} + S_{\max}$	0.46 ...	(0.36)	0.42 ..	(0.27)	-	-
RV_5	0.41 ...	(0.22)	0.44 ..	-	-	-
$R_{\max} + S$	0.38 ...	(0.36)	-	(0.39)	-	-
$SV_1 + RV_{5/6}$	0.35 ...	(0.31)	0.32 .	-	-	(0.40)
RV_6	0.33 ...	(0.21)	0.34 .	-	-	(0.41)
$S_{\max}$	0.25 .	(0.42)	-	(0.44)	-	(0.43)
$\hat{A} T_h$	-	(0.38)	-0.30 .	-	-	(0.48)
$\hat{A} QRS_f$	-0.31 .	(0.20)	-0.39 ..	-	-	-
Raumwinkel	-	(0.40)	-0.36 .	-	-	(0.54)
$\hat{A} T_h$ -Länge	-	(0.44)	-	-	-0.40 .	(0.64)

Tabelle 9:

Korrelation der elektrokardiographischen und vektoriellen Größen mit dem Ponderal-Index. In Klammern die jeweils beste Korrelation zum Blutdruck, nur signifikante Werte sind aufgeführt.

Zeichen: P. I. = Ponderal-Index.
 RR = Blutdruck
 Gruppe A = Hypertonie bis 5 Jahre Dauer
 Gruppe B = Hypertonie über 5 Jahre Dauer

$p < 0.05$ = .
 $p < 0.01$ = ..
 $p < 0.001$ = ...

Die positive Korrelation bedeutet, daß mit zunehmendem Ponderal-Index die Amplituden wachsen, das heißt, die Amplituden wachsen um so mehr, je hagerer der Körperbau der Patienten ist. Die negative Korrelation der vektoriellen Zeichen besteht hauptsächlich bei kurzdauernder Hypertonie. Für den Raumwinkel z. B. bedeutet sie, daß dieser Winkel um so größer wird, je kleiner der P. I. ist, das heißt, je kleiner und schwerer die Patienten sind. Im selben Sinne nimmt auch die Ablenkung des frontalen QRS-Vektors nach links und oben zu.

Da außerdem eine negative Korrelation zwischen Blutdruck und Ponderal-Index besteht (signifikant nur in Gruppe B) - das heißt, der Blutdruck steigt bei gleichbleibender Körpergröße mit dem Körpergewicht - wäre es wichtig zu wissen, wie die Korrelation zwischen Elektrokardiogramm und Blutdruck ist, wenn der Einfluß des Körperbaues ausgeschaltet wird. Das erreicht man rechnerisch mit Hilfe der sogenannten "partiellen Korrelation".

	Alle	A	B
RR 1. Tag	-0.13	-0.22	-0.39
RR 3. Tag	-0.11	-0.22	-0.40
RR _d 3. Tag	-0.08	-0.18	-0.36
RR _s 3. Tag	-0.13	-0.26	-0.39

Tabelle 10:

Korrelation zwischen Blutdruck und Körperbau bei den gesamten 100 Patienten und den Untergruppen.

Zeichen: $p < 0.05 = \cdot$ (Signifikanz)

Wendet man das Verfahren der partiellen Korrelation ohne Rücksicht auf die Signifikanz der Werte von r für die Gesamtfälle und die Untergruppen gleichermaßen an, dann findet man:

Bei RV_5
 RV_6
 $SV_1 + RV_{5/6}$
 $R_{\max}$
 $S_{\max}$
 $R_{\max} + S_{\max}$
 $R_{\max} + S$

wird die Korrelation etwas enger bei den Gesamtfällen (Zunahme der Koeffizienten bis etwa 0.1) und in der Gruppe A mit kurzdauernder Hypertonie.

In der Gruppe B, wo die Korrelation Körperbau-Blutdruck gesichert ist, nicht jedoch die Beziehung Körperbau-Elektrokardiogramm außer der horizontalen T-Länge (siehe Tabelle 9), ist beim R in V_5 und V_6 ein Anstieg der Koeffizienten bis 0.15 festzustellen (Tabelle 11).

RV_5	Totale Korrelation	Partielle K. Einfluß des P. I. ausgeschaltet	Differenz
RR 1. Tag	0.26	0.40	D : 0.14
RR 3. Tag	0.28	0.43	D : 0.15
RR _d 3. Tag	0.26	0.39	D : 0.13
RR _s 3. Tag	0.27	0.41	D : 0.14

RV_6

RR 1. Tag	0.28	0.41	D : 0.13
RR 3. Tag	0.40	0.55	D : 0.15
RR _d 3. Tag	0.35	0.48	D : 0.13
RR _s 3. Tag	0.41	0.56	D : 0.15

Tabelle 11:

Totale und partielle Korrelation (nach Ausschaltung des P. I.) zwischen Blutdruck und RV_5 und RV_6 .

Bei rechnerisch konstant gehaltenem Körperbau tritt also die positive Korrelation zwischen den Amplituden im Elektrokardiogramm und dem Blutdruck in einigen Merkmalen deutlicher zutage, das heißt, der Einfluß der Variablen, die der Körperbau darstellt, verwischt die Beziehung zwischen Blutdruck und Amplitudengröße.

Bei den vektoriellen Kriterien zeigt sich für $\hat{A} T_h$, $\hat{A} QRS_f$ und den Raumwinkel ein leichtes Absinken des Korrelationskoeffizienten in Gruppe A, ebenso für die horizontale T-Länge in Gruppe B. Hier wird also durch den Einfluß des mit dem Blutdruck steigenden Körpergewichtes (gleichbleibende Größe vorausgesetzt) eine etwas engere Korrelation zwischen Elektrokardiogramm und Blutdruck vorgetäuscht.

Einfluß des Lebensalters

Einige Merkmale zeigen eine signifikante Korrelation mit dem Lebensalter der Patienten, allerdings nicht in der Gruppe mit langdauernder Hypertonie (Tabelle 13).

Andererseits ist Blutdruck und Alter nur in den Untergruppen sicher korreliert und zwar positiv in Gruppe A (Hypertonie bis 5 Jahre) und negativ in Gruppe B (Hypertonie länger als 5 Jahre).

	Alle	A	B
RR 1. Tag	-	(0.29)	-0.51 .
RR 3. Tag	-	(0.28)	(-0.38)
RR _d 3. Tag	-	(0.24)	-0.40 .
RR _s 3. Tag	-	0.32 .	(-0.28)

Tabelle 12:

Korrelation zwischen Alter und Blutdruckhöhe bei Hypertonie mit unter und über 5jähriger Dauer (A bzw. B) .

Zeichen: $p < 0.05 = \cdot$

	Gesamtfälle	A	B
$R_I + S_{III}$	0.20 ·	0.40 ··	-
$S_{\max}$	-0.20 ·	-	-
$\hat{A} \text{ QRS}_h$	-0.30 ··	-	-
$\hat{A} T_h$	0.23 ·	0.44 ··	-
$\hat{A} T_f$	0.26 ··	0.35 ·	-
$\hat{A} \text{ QRS}_f$	0.43 ···	0.57 ··	-
$\hat{A} \text{ QRS}_f - \hat{A} T_f$	0.27 ··	0.34 ·	-
Raumwinkel	0.20 ·	0.36 ·	-

Tabelle 13:

Korrelation zwischen dem Lebensalter und elektrokardiographischen und vektoriellen Größen.

Zeichen: $p < 0.05$ = · A: bis 5 Jahre Dauer
 $p < 0.01$ = ·· B: über 5 Jahre Dauer
 $p < 0.001$ = ···

Aus der Tabelle 12 geht hervor, daß bei Patienten mit Hypertonie, die nicht länger als 5 Jahre besteht, zumindest der systolische Blutdruck die Tendenz hat, mit dem Alter zuzunehmen. Dem entsprechen umfangreiche statistische Untersuchungen bei Gesunden (31).

Bei Hypertonikern, bei denen die Krankheit schon länger als 5 Jahre bekannt war, hat der Blutdruck mit zunehmendem Alter dagegen sinkende Tendenz. Das dürfte bei der beschriebenen Auswahl dadurch bedingt sein, daß nur die Patienten älter werden, bei denen die Blutdrucksteigerung nicht so hochgradig ist.

Hält man auch hier durch das Verfahren der partiellen Korrelation den Einfluß des Alters konstant, dann findet man erwartungsgemäß bei den Gesamtfällen keine Änderung. In der Gruppe A zeigt sich, daß

die signifikante positive Beziehung zwischen Blutdruck und einigen Merkmalen etwas zurückgeht. Sie wurde also zu einem Teil nur durch den Alterseinfluß vorgetäuscht (Tabelle 14).

	Korrelation	
	total	partiell
$R_I + S_{III}$	0.43 ..	0.37 .
T_h - Länge	0.32 .	(0.23)
$\hat{A} QRS_f$	0.43 ..	0.38 .
$\hat{A} QRS_f - \hat{A} T_f$	0.30 .	(0.23)
Raumwinkel	0.36 .	(0.29)

Tabelle 14:

Totale und partielle Korrelation - nach Ausschaltung des Einflusses, der auf das Lebensalter zurückgeht - zwischen Blutdruck und einigen elektrokardiographischen bzw. vektoriellen Größen.

Zeichen: $p < 0.05 = .$
 $p < 0.01 = ..$
 $p < 0.001 = ...$

Schließlich kann noch die partielle Korrelation zwischen dem Blutdruck und den angegebenen Zeichen für Linkshypertrophie bestimmt werden unter Elimination der Variablen Alter und Körperbau gleichzeitig. Wir erhalten dann (läßt man Signifikanzbetrachtungen zwischen den einzelnen Variablen einmal außer acht), ein Maß der Korrelation, wie man es sonst nur an sehr großen Reihen von jeweils gleichem Körperbau und Alter finden kann.

Die Auswertung zeigt, daß ein beträchtlicher Anteil der bei den geprüften, für Linkshypertrophie typischen Kriterien gefundenen Änderungen durch die Höhe des arteriellen Blutdrucks bzw. einen Faktor, der dem Blutdruck parallel geht, hervorgerufen wird.

In der Tabelle 15 sind an einigen besonders deutlichen Beispielen die

Resultate der partiellen Korrelation nach Ausschaltung des Einflusses von Alter und Körperbau der totalen Korrelation gegenübergestellt.

		Alle 100 Fälle		Gruppe A		Gruppe B	
RV_5	1	0.22 ·	0.30 ··	-	-	(0.26)	0.56 ··
RV_6	2	-	-	-	-	0.40 ·	0.57 ··
$SV_1 + RV_{5/6}$	1	0.31 ··	0.38 ··	-	-	(0.34)	0.52 ··
R_{max}	1	0.22 ·	0.33 ··	-	-	(0.18)	0.51 ·
S_{max}	1	-	-	0.44 ··	0.53 ···	-	-
$R_{max} + S_{max}$	1	0.36 ···	0.47 ···	(0.27)	0.42 ··	0.40 ·	0.61 ··
$\hat{A}QRS - \hat{A}T_h$	4	-	-	-	-	0.53 ··	0.62 ··
$\hat{A}T_h$	4	-	-	0.32 ·	(0.19)	0.48 ·	0.60 ··

Tabelle 15:

Totale und partielle Korrelation nach Elimination des Einflusses von Körperbau und Alter gegenübergestellt.

Zeichen: $p < 0.05$ = ·
 $p < 0.01$ = ··
 $p < 0.001$ = ···

1 = RR 1. Tag = mittlerer Blutdruck am 1. Tag
 2 = RR 3. Tag = mittlerer Blutdruck am 3. Tag
 4 = RR_s 3. Tag = systolischer Blutdr. am 3. Tag

Schließlich seien noch einmal für die Gruppe B, bei der die stärkste Abhängigkeit besteht, die jeweils besten Korrelationskoeffizienten für die einzelnen Kriterien aufgeführt (Tabelle 16).

EKG	RR	r	Vektoriell	RR	r
$R_{\max} + S_{\max}$	1	0.61 ..	QRS_h -Länge	4	0.73 ...
RV_6	2	0.57 ..	T_h -Länge	4	0.63 ..
RV_5	1	0.56 ..	$\hat{A}QRS-\hat{A}T_h$	4	0.62 ..
$SV_1 + RV_{5/6}$	2	0.54 ..	$\hat{A}T_h$	4	0.60 ..
$R_{\max}$	1	0.51 ..	$\hat{A}T_f$	4	0.59 ..
$S_{\max}$	1	0.44 .	Raumwinkel	4	0.58 ..
			$\hat{A}QRS-\hat{A}T_f$	4	0.56 ..

Tabelle 16:

Partielle Korrelation nach Ausschaltung des Einflusses von Alter und Körperbau zwischen elektrokardiographischen und vektoriellen Größen einerseits und dem Blutdruck andererseits. Jeweils beste Beziehung.

Zeichen: $p < 0.05 = \cdot$
 $p < 0.01 = \cdot \cdot$
 $p < 0.001 = \cdot \cdot \cdot$

1 = RR 1. Tag = mittlerer Blutdruck vom 1. Tag
2 = RR 3. Tag = mittlerer Blutdruck vom 3. Tag
4 = RR_s 3. Tag = systolischer Blutdr. vom 3. Tag

Die aus dem Elektrokardiogramm bestimmten vektoriellen Größen sind auch hier besser mit dem Blutdruck korreliert als die QRS-Amplituden.

Die Ergebnisse der partiellen Korrelation sind allerdings nur als Hinweis mit nicht definierter Wahrscheinlichkeit zu betrachten, da in die Rechnung auch nicht signifikante Koeffizienten eingegangen sind.

DISKUSSION

Die elektrokardiographische Diagnose der linksventrikulären Hypertrophie bedient sich neben der Feststellung des Linkstyps besonders der Messung verschiedener QRS-Amplituden und Amplitudensummen aus den herkömmlichen Extremitätenableitungen, den Brustwandableitungen und den unipolaren Ableitungen nach Goldberger. Die Entstehungsbedingungen und die Zuverlässigkeit dieser Kriterien, ihre möglichen Fehlerquellen sowie ihre Beeinflussbarkeit durch Faktoren, die mit der Hypertrophie nichts zu tun haben, wurden in zahlreichen theoretischen, experimentellen, klinischen und vergleichend klinisch-anatomischen Untersuchungen geprüft. (ALLENSTEIN 3, CUMMING 16, GUBNER 29, HEINE 32, KILTY 39, KOSSMANN 41, McPHIE 50, OKAMOTO 55, ROSENFELD 61, SCHÄFER 62, SCHLOMKA 66, SCHRÖDER 72, SCOTT 73, SIMONSON 76, SIMPSON 79, SOKOLOW 80, SPANG 81, SYMONS 83, ZAPFE 96) In den Extremitätenableitungen wird vor allem der Index von GUBNER und UNGERLEIDER (29) $R_I + S_{III} \geq 2.5 \text{ mV}$ angewendet, der in wechselndem Prozentsatz die richtige Diagnose traf: In 19 % bei HEINE (32), in 8 % bei SCOTT (73) und in 52 % bei GUBNER (29), während der Prozentsatz der fälschlich positiven Diagnosen hier recht niedrig lag.

In den präkordialen Ableitungen ist die Zunahme der R-Potentialschwankung bei der Linkshypertrophie in den dem linken Ventrikel am nächsten liegenden Ableitstellen V_4 bis V_6 und der S-Zacke in den Ableitstellen V_1 und V_2 besonders charakteristisch. In einem hohen Prozentsatz der Fälle mit Linkshypertrophie ist der Index von SOKOLOW und LYON (80) $SV_1 + RV_5$ bzw. $SV_1 + RV_{5/6} \geq 3.5 \text{ mV}$ positiv. Die Treffsicherheit schwankt zwischen 13 % (SYMONS und WAHL 83) und 71 % (HEINE 32). Fälschlich positive Diagnosen sind hier allerdings häufiger (ALLENSTEIN und MORI 3). So fanden z. B. CUMMING und PROUDFIT (16) anhand von Elektrokardiogrammen mit einem SOKOLOW-

Index $SV_1 + RV_{5/6} \geq 3.5$ mV als einzigem "anomalen" Befund, daß 39 % dieser Personen völlig gesund waren. Nach den pathologisch-anatomischen Untersuchungen von McPHIE (50), KOSSMANN (41), SCOTT (73) und ALLENSTEIN (3) ist das Kriterium Größtes R + Größtes S (in V_1 bis V_6) größer oder gleich 4.5 mV dasjenige mit der größten Treffsicherheit. Es folgt der Index von Sokolow und das Kriterium $RV_{5/6} \geq 2.6$ mV.

Seit der Einführung der Vektorkardiographie (SCHELLONG 65, DUCHOSAL und SULZER 21) gewann die vektorielle Deutung der elektrischen Phänomene während der Herzaktion immer mehr Bedeutung und ging weit über die bis dahin auch schon geübte Typen- bzw. Achsenbestimmung von QRS aus den Extremitätenableitungen hinaus. Um die anfänglich verwirrende Diskrepanz zwischen dem herkömmlichen Elektrokardiogramm und den meist oszillographisch geschriebenen Vektorschleifen der verschiedenen Ebenen zu verringern, wurden einige Methoden angegeben, die es erlauben, die Vektorschleifen in Annäherung aus den üblichen Ableitungen zu konstruieren bzw. einige sonst nur aus dem Vektorkardiogramm zu gewinnende Informationen zu erhalten. Allerdings werden dazu auch oft zusätzliche und neue Ableitstellen angegeben.

GRANT beschrieb 1950 eine Methode (27) und ein Modell (28) zur Bestimmung der mittleren räumlichen Vektoren aus den üblichen Ableitungen, basierend auf einer Arbeit von WILSON und Mitarbeitern (91). Eine modifizierte Version der Grant'schen Methode wendet ZAKOV (95) an. URSCHEL und ABBEY (85, 86) beschrieben in Anlehnung an GRANT und ESTES (28) ein Modell, mit dessen Hilfe die Vektoren nach Richtung und Größe bestimmt werden können. Eine weitere Methode stammt von LANGNER (42). Die Anwendung der Methode von SIMONSON (75), die sehr verbreitet ist, setzt voraus, daß alle Ableitstellen an der Brustwand in Höhe der 5. Interkostalgegend liegen und daß sovieler zusätzliche Ableitungen geschrieben werden, bis man in einer Brustwandableitung ein negatives T erhält. Eine weitere Methode zur Vektorbe-

stimmung aus den Extremitätenableitungen und V_2 und V_6 beschrieb AYALA Y DE LANDERO (5).

Die vektorielle Analyse auf der Grundlage des Einthovenschen Dreiecks wird als allgemein anerkannte Methode geübt (HOLZMANN 34, SCHÄFER 62). Als weitere Ableitlinien für die frontale Vektorprojektion werden die unipolaren Extremitätenableitungen nach Goldberger verwendet (GILLMANN 26).

Problematischer ist die Vektorsynthese für die horizontale Projektion aus den Brustwandableitungen. Der Einfluß der Nahpotentiale ("Proximitätseffekt") ist hier von der Entfernung der Ableitelektroden vom Herzen abhängig und macht sich bis zu einer Zone von zwei bis drei Zentimetern bemerkbar, also vor allem in V_2 und V_3 und besonders dann, wenn das Herz dicht einer dünnen Brustwand anliegt (GILLMANN 26, HOLZMANN 34).

Um diese Schwierigkeit zu vermeiden, bestimmen MASSIE und WALSH (48) die Richtung des QRS- und T-Vektors in der Horizontalebene nach der Übergangszone. Der Hauptvektor liegt danach senkrecht zwischen den Ableitungen, die die Übergangszone angeben. Nach SIMONSON (75) sind dazu in 80 % der Fälle zusätzliche Ableitungen rechts von V_1 bzw. von V_{4R} nötig.

Gestützt auf die von DUCHOSAL und SULZER (21) gefundene gute Übereinstimmung von präkordialen Ableitungen, die aus den Vektordiagrammen der Horizontalebene konstruiert wurden, mit den an den typischen Ableitstellen erhaltenen Kurven sind nach BÖCKH und SCHÄFER (9), SCHÄFER (62) sowie HOLZMANN (34) und SPANG (81) die Wilsonableitungen schon in verhältnismäßig kleinem Abstand vom Herzen in ihrem Hauptteil Projektionen des Integralvektors und nicht Nahpotentiale. Unberücksichtigt bleibt dabei die Abhängigkeit der Brustwandableitungen von der Lage des Ableitungsquerschnitts zum elektrischen Nullpunkt des Herzens (HOLZMANN 34, GILLMANN 26).

Um auch die Elektrokardiogramme auswerten zu können, in denen die Übergangszone für T nicht erfaßt wurde, wurden die horizontalen

QRS- und T-Vektoren wie in der frontalen Ebene planimetrisch aus V_2 und V_6 bestimmt. Die Ergebnisse dieser Methode, angewendet an Elektrokardiogrammen von Gesunden, verglichen mit den Normalwerten von MASSIE und WALSH (48) zeigt die Tabelle 5.

In der frontalen Ebene finden wir dieselben Werte, in der horizontalen, sicher durch die abweichende Methode bedingt, eine Vergrößerung des Winkels zwischen QRS- und T-Flächenvektor:

$\hat{A} \text{ QRS}_h$	-30°	-20°
$\hat{A} \text{ T}_h$	$+50^\circ$	$+40^\circ$
$\hat{A} \text{ QRS}_h - \hat{A} \text{ T}_h$	80°	60°
	Eigene	MASSIE

Darauf ist die Vergrößerung des Raumwinkels auf 65° zurückzuführen. Errechnet man aus den von MASSIE angegebenen Durchschnittswerten die Raumwinkel, so erhält man als durchschnittlichen Raumwinkel 50° gegenüber 65° bei unseren Normalfällen.

Wenn unsere Befunde mit einer abweichenden Methode gewonnen wurden, so zeigen die Ergebnisse bei Hypertonikern doch, daß die als charakteristisch beschriebenen Änderungen bei der Linkshypertrophie in gleicher Weise erfaßt werden wie mit anderen Methoden, besonders auch der direkten Vektorkardiographie mit ihren zahlreichen Ableitungssystemen, die untereinander qualitativ gut vergleichbare Werte liefern (ABEL 2, SIMONSON/SCHMITT 78).

Die Flächenvektoren von QRS und T rotieren gegensinnig, der Winkel zwischen QRS und T vergrößert sich in beiden Projektionen, und damit auch der Raumwinkel.

Das steht in Übereinstimmung mit zahlreichen anderen Untersuchungen (BÄDECKER 6, BILGER 8 mit dem System nach Grishman; BRISTOW/PORTER/GRISHWOLD 13, LIBRETTI/ZANCHETTI 44, MURATA 51 und 52, SCHAUB 64 mit dem System von Frank;

NAKAGAWA 54, RAUTAHARJU/KARVONEN/KEYS 59 mit dem Verfahren nach Simonson; ZAKOV 95 mit ähnlicher Methode; DEGLAUDE/LAURENS 17, WIRTH-SOLEREDER 92 nach Duchosal und Sulzer; weiterhin DOHRMANN und SCHMITT 19, HOLZMANN 34, PORTHEINE 57 und WENGER 88 und 89).

Ein Vergleich mit den bei MASSIE und WALSH für Hypertonie gefundenen Werten (Tabelle 17) zeigt, daß abgesehen von der abweichend berechneten horizontalen Ebene die dort untersuchten Patienten am ehesten mit denen der Gruppe B (Hypertonie länger als 5 Jahre) zu vergleichen sind.

	Alle	A (bis 5 J.)	B (über 5 J.)	M. u. W.
$\hat{A} \text{ QRS}_h$	-40°	-43°	-38°	-25°
$\hat{A} \text{ T}_h$	87°	83°	102°	135°
$\hat{A} \text{ QRS}_f$	19°	26°	6°	5°
$\hat{A} \text{ T}_f$	76°	63°	115°	120°

Tabelle 17:

Lage der Flächenvektoren QRS und T bei Hypertonikern.
Vergleich eigener Werte mit denen von MASSIE und WALSH
= M. u. W.

Zu den charakteristischen Änderungen gehören neben der Rotation des mittleren T-Vektors im Uhrzeigersinn nach vorne unten und nach rechts, und des mittleren QRS-Vektors nach links oben und hinten auch die Vergrößerung der Vektoren, wie sie, neben den Amplituden in den Brustwandableitungen, auch in der Länge des horizontalen QRS- und T-Vektors zum Ausdruck kommt.

Die Frage der Entstehung und Beeinflußbarkeit der im Elektrokardio-

gramm abgeleiteten Spannungen ist im deutschen Schrifttum vor allem durch SCHÄFER (62) anhand von experimentellen und theoretischen Untersuchungen zusammenhängend behandelt worden. Die abgegriffenen Potentiale und Zeit-Spannungs-Integrale sind demnach abhängig von der Größe des Membranpotentials, der Dicke der Herzmuskelfaser, ihrer Länge, ihrem mechanischen Spannungszustand, der Leitungsgeschwindigkeit im Myokard, der Richtung der Einzelvektoren zueinander und der Richtung des Summationsvektors zur Ableitlinie, der Blutfülle des Herzens, der Herzlage, der Leitfähigkeit des umliegenden Gewebes und dem Abstand der Elektroden vom Herzen.

Korrelation elektrokardiographischer und vektorieller Kriterien mit dem Blutdruck

Das Elektrokardiogramm des Hochdrucks ist nach SCHÄFER zumindest teilweise durch die oben beschriebenen Einflüsse der mechanischen Spannung der Muskelfaser bestimmt (62). So nahmen z. B. im Tierexperiment bei einer Blutdruckerhöhung die Amplituden im Elektrokardiogramm des Katzenherzens ganz deutlich zu. Bei der Hochdruckkrankheit kommen untrennbar dazu noch die Amplitudenzunahmen durch Hypertrophie des Herzmuskels.

ANGELAKOS und GOKHAN (4) fanden, daß bei Verminderung des venösen Rückflusses zum Hundeherzen die QRS-Amplitude (ohne Veränderung der Herzlage) schrittweise und parallel mit dem arteriellen Blutdruck abfiel. Es konnte jedoch weiter gezeigt werden, daß diese QRS-Veränderungen auch dann auftreten, wenn der Blutdruck konstant gehalten wird. Die Spannungsabnahme sei hier vielmehr auf die Verminderung des intrakardialen Blutvolumens zurückzuführen.

Beziehungen zwischen intraventrikulärem Druck und Elektro- bzw. Vektorkardiogramm wurden mehrmals gefunden:

KLEPZIG, DOLL und REINDELL (40) entdeckten, daß die Veränderungen im direkten Vektorkardiogramm und in den aus den Brustwandableitungen konstruierten Vektorschleifen bei Rechtsbelastung vom Ventrikeldruck abhängig sind. DEGLAUDE und LAURENS (17) wiesen für die systolische Überlastung der beiden Ventrikel nach, daß die bekannten gegensinnigen Abdrehungen der QRS- und T-Schleifen in ihrem Ausmaß mit dem Grad der Überlastung annähernd parallel gehen. BASSINGTHWAIGHTE und Mitarbeiter (7) fanden bei Pulmonalstenosen zwischen dem intraventrikulären Druck rechts und den Veränderungen der Flächenvektoren in beiden Projektionen eine Korrelation mit Faktoren zwischen 0.39 und 0.75, zwischen Druckgradient und Amplitude von R in V_1 und der Summe $RV_1 + SV_5$. Korrelationsfaktoren von 0.59 und 0.63. Eine Relation zwischen dem rechtsventrikulären Druck und der Vektorform fand auch WENGER (90), für den linksventrikulären Druck wurde eine solche Relation dagegen vermißt. In einer elektrokardiographischen Untersuchung mit dem sogenannten ABC-System wies TRETHEWIE (84) bei Patienten mit Aortenstenose eine sehr enge Beziehung nach zwischen dem linksventrikulären Druck und der S-Amplitude in Ableitung B, die über dem linken Ventrikel vom Schwertfortsatz des Brustbeins in die linke Achselhöhle verläuft. TRETHEWIE empfiehlt deshalb, den Druckgradienten bei Aortenstenose unter bestimmten Umständen nicht durch Herzkatheter zu bestimmen, sondern anhand der S_B -Amplitude. Auch BRAUNWALD und Mitarbeiter (12) fanden bei bis 10 Jahre alten Kindern mit kongenitaler Aortenstenose eine Korrelation zwischen Ventrikeldruck bzw. Druckgradient und dem Winkel zwischen dem frontalen QRS- und T-Vektor, ebenso der Amplitude von RV_5 und SV_1 . Eine sehr enge Korrelation zwischen intraventrikulärem Druck und den jeweils größten Vektorspannungen an einem allerdings ausgesuchten Krankengut von Kindern und Jugendlichen mit Aorten- und Pulmonalstenose fanden HUGENHOLTZ und GAMBOA (35). Zwischen dem Druckmaximum im linken Ventrikel und den größten räumlichen Vektorspannungen wurde

ein Korrelationsfaktor von $r = 0.85$, für das Druckmaximum des rechten Ventrikels ein Faktor von $r = 0.87$ errechnet. Demnach gibt das Vektorkardiogramm in manchen Fällen ein getreues Bild der Druckverhältnisse im Herzen.

Neben der Beziehung von Elektrokardiogramm und Vektorkardiogramm zum intraventrikulären Druck wurde auch mehrfach die zum arteriellen Blutdruck geprüft.

Bei Gesunden konnten RAUTAHARJU und BLACKBURN (58) keine Korrelation zwischen QRS- und T-Amplituden und dem Blutdruck finden, wohl aber für die vektoriellen Kriterien. BILGER (8) dagegen vermißte in einer vektorkardiographischen Untersuchung bei Linkshypertrophie jede Korrelation zwischen der Richtung des mittleren QRS-Vektors und dem systolischen, diastolischen und mittleren Blutdruck. Auch EFFERT und Mitarbeiter (22) stellten bei Aortenisthmusstenose fest, daß zwischen Blutdruckhöhe und zahlreichen Amplituden und anderen Kriterien überhaupt keine Beziehung bestand.

Naturgemäß befassen sich die meisten Arbeiten, die die Zusammenhänge zwischen Blutdruck und Elektrokardiogramm untersuchen, mit der Hypertonie; und zwar werden die elektrokardiographischen Änderungen gerne in Typen eingeteilt, die den Schweregrad der Hypertonie ausdrücken sollen.

Eine direkte Korrelation des arteriellen Blutdrucks zur Negativität der U-Welle bei Hypertonikern fanden GEORGOPOULOS, PROUDFIT und PAGE (25). Senkung des Blutdrucks bewirkt Rückgang und Umkehr der Negativität. Nach LEPESCHKIN (43) ist die Häufigkeit eines negativen T in den Brustwandableitungen größer bei hohem diastolischen Druck. Nach NAKAGAWA (53) wächst mit der am Blutdruck gemessenen Schwere der Hypertonie die Summe aller nach links zeigenden Einzelfaktoren im Elektrokardiogramm. Beim Vergleich von Elektrokardiogrammen vor und nach blutdrucksenkender Behandlung fand DOYLE (20), daß die ST- und T-Veränderungen ebenso wie die über-

höhten QRS-Spannungen sich während der Behandlung ständig besserten und daß diese Verbesserung auf den Grad der Blutdrucksenkung bezogen war.

SIMPSON (79) zeigte, daß bei Hypertonikern die Häufigkeit jeden Typs elektrokardiographischer Änderungen (wie hohe Amplituden in $RV_5 + SV_1$ und $RaVL$, ST- und T-Veränderungen, verspäteter Gipfel der R-Zacke in V_{5-6}) mit dem durchschnittlichen diastolischen Blutdruck zunimmt. Dabei fiel ein Geschlechtsunterschied auf: Bei Männern nahm die Häufigkeit der hohen Amplituden nicht mit dem durchschnittlichen, sondern dem im Schlaf nach medikamentöser Sedierung gemessenen niedrigsten diastolischen Blutdruck zu.

Im Gegensatz zu Gesunden fanden BOTTI, ROSATI und VISIOLI (10) bei Hypertonikern eine positive Korrelation zwischen der Amplitude des S in V_2 und des $RV_{5/6}$ mit dem diastolischen und, weniger eng, mit dem systolischen Blutdruck (Tabelle 18).

	SV_2	$RV_{5/6}$	
RR_s	0.15	0.32	Alle Fälle BOTTI's
RR_d	0.32	0.44	
RR_d	0.28	0.42	Bereinigte Korrelation; Alters- einfluß ausgeschaltet
RR_s	0.35	0.49	Essentielle Hypertonie
RR_d	-	0.41	

Tabelle 18:

Korrelation zwischen SV_2 und $RV_{5/6}$ und systolischem und diastolischem Blutdruck bei Hypertonikern. Aus: BOTTI (10)

Bei der Untergruppe der essentiellen Hypertonie ist die Beziehung zum systolischen Blutdruck enger, im Gegensatz zu den Gesamtfällen, zu denen auch renale, arteriosklerotische und valvulär bedingte Hypertonien gehören. Da wir für SV_2 und $RV_{5/6}$ die Korrelation nicht ermittelt haben, lassen sich die Ergebnisse nicht unmittelbar vergleichen. Ersatzweise sind unsere Werte von SV_1 , S_{max} , RV_5 und RV_6 neben die Ergebnisse von BOTTI gestellt (Tabelle 19).

	BOTTI				Eigene			
	SV_2	SV_2	SV_1	SV_1	S_{max}	S_{max}	S_{max}	
	Alle	Ess.	Alle	> 5 J.	Alle	< 5 J.	> 5 J.	
RR_s	0.15	0.34	0.34	0.35	0.29	0.26	0.40	
RR_d	0.32	-	0.28	0.47	0.40	0.37	0.38	
	$RV_{5/6}$	$RV_{5/6}$	RV_5	RV_5	RV_5	RV_6	RV_6	RV_6
	Alle	Ess.	Alle	< 5 J.	> 5 J.	Alle	< 5 J.	> 5 J.
RR_s	0.32	0.49	-	-	-	-	-	0.41
RR_d	0.44	0.41	-	-	-	0.21	-	(0.35)

Tabelle 19:

Vergleich eigener Werte mit denen von BOTTI (10) für die Korrelation zwischen Amplituden aus den Brustwandableitungen und systolischem und diastolischem Blutdruck.

Abkürzungen:

- < 5 J. = Hypertonie bis 5 Jahre Dauer
- > 5 J. = Hypertonie länger als 5 Jahre Dauer
- Alle = Gesamtfälle
- Ess. = Essentielle Hypertonie
- RR_s = systolischer Blutdruck
- RR_d = diastolischer Blutdruck

Was die unterschiedliche Beziehung zum systolischen und diastolischen Blutdruck betrifft, stimmen die Ergebnisse nur zum Teil überein. Bei einer Gruppe von 325 Hypertoniekranken (arteriosklerotische, essentielle, renale und valvuläre Hypertonie) stellten BOTTI und Mitarbeiter in einer weiteren Arbeit (11) eine positive Korrelation zwischen Blutdruck und dem in vier Typen oder Grade eingeteilten Elektrokardiogramm fest. (Die Typeneinteilung war dabei folgende:

I : Normales EKG.

II : Isolierte QRS-Hochspannung in Goldberger-Ableitungen.

III: ST-T-Änderungen ohne QRS-Hochspannung

IV: ST-T-Änderungen mit QRS-Hochspannung.)

	Alle	essentielle	renale
RR_s	0.29	0.44	0.25
RR_d	0.46	0.33	0.44

Bei essentieller Hypertonie ist also hier die Beziehung zum systolischen Blutdruck besser, bei renaler zum diastolischen.

Unsere eigenen Ergebnisse zeigen ein unterschiedliches Verhalten.

In der Tabelle 20 ist für die einzelnen Kriterien (einschließlich vektorielle) aufgetragen, mit welchem Blutdruck sie die engere Korrelation zeigen.

Soweit also überhaupt ein nennenswerter Unterschied besteht, ist bei den Gesamtfällen sowohl bei den Amplituden als auch bei den vektoriellen Kriterien (mit je einer Ausnahme) die Beziehung zum systolischen Druck enger. (Noch ausgeprägter ist das bei den Fällen mit langdauernder Hypertonie.)

$R_I + S_{III}$	-	QRS _h -Länge	-
SV ₁ + RV _{5/6}	-	T _h -Länge	-
R _{max} + S _{max}	-	$\hat{A} \text{ QRS}_f$	diast. Druck
R _{max} + S	-	$\hat{A} \text{ QRS} - \hat{A} T_h$	syst. Druck
RV ₆	diast. Druck	$\hat{A} T_h$	syst. Druck
SV ₁	syst. Druck	$\hat{A} \text{ QRS} - \hat{A} T_f$	syst. Druck
S _{max}	syst. Druck	$\hat{A} T_f$	syst. Druck
		Raumwinkel	syst. Druck

Tabelle 20:

Jeweils beste Korrelation (entweder mit dem systolischen oder dem diastolischen Blutdruck vom 3. Kliniktag). Nur angegeben, wenn der Unterschied der beiden in Frage kommenden Koeffizienten mindestens den Wert von 0,05 hat. Dieser Wert steht also nicht in Zusammenhang mit einer Signifikanzbetrachtung.

Korrelation der vektoriellen Kriterien

Die beste Korrelation bei unseren Gesamtfällen sowie bei langer Krankheitsdauer weist die Länge der Horizontalprojektion von QRS und T auf.

Daß die Vektoren und somit auch ihre Projektionen und Flächenwerte zunehmen, ist bekannt. Beispielsweise fanden BRISTOW (13) und LIBRETTI (44) bei arterieller Hypertonie die QRS- und T-Flächen in allen Ebenen vergrößert (siehe auch DOHRMANN 19, WENGER 89). Für die Summe RV₆ + SaVF + SV₂, in der die beiden Komponenten RV₆ und SV₂ enthalten sind, aus denen sich praktisch die QRS-Länge in der horizontalen Projektion errechnet, fand NAKAGAWA (53) ein

Ansteigen mit dem Blutdruck. In einer weiteren Untersuchung an 280 Hypertonikern wies ebenfalls NAKAGAWA (54) eine Zunahme des QRS-Vektors mit steigendem Blutdruck nach. Dagegen nahm der T-Vektor in seiner Größe ab, besonders relativ zum QRS-Vektor. Diese Abnahme der T-Vektorlänge wurde auch von PORTHEINE (57) und bei schwersten Graden von Linkshypertrophie auch von WIRTH-SOLEREDER (92) gefunden. Nach DEGLAUDE und LAURENS (17) trifft diese Veränderung allerdings nur bei volumentrischer Überlastung, nicht bei Druckbelastung zu.

Wir selbst konnten ebenfalls keine eindeutige Abnahme von T feststellen, weder mit ansteigendem Blutdruck noch mit der Dauer der Hypertonie. Korreliert man bei unseren Gesamtfällen die horizontale QRS- und T-Länge miteinander, so findet man zwar mit $r = 0.58$ eine verhältnismäßig nur geringe gegenseitige Abhängigkeit, woraus hervorgeht, daß die Vergrößerung von T nicht streng der von QRS folgt; jedoch ist der betreffende Faktor bei den Fällen mit lang dauernder Hypertonie mit $r = 0.83$ viel größer und zeigt, daß hier die T-Vergrößerung sehr eng mit der Vergrößerung von QRS gekoppelt ist. Auch aus den Mittelwerten für kurz und lang dauernde Hypertonie läßt sich keine eindeutige Verkleinerung von T herauslesen, die Mittelwerte für die horizontale T-Länge sind nicht signifikant verschieden.

Die nächstbeste Korrelation unter den vektoriellen Kriterien zeigen bei den Gesamtfällen der Raumwinkel und seine Einzelkomponenten (Winkel zwischen QRS und T horizontal und frontal), die Koeffizienten für diese drei Winkel liegen zwischen $r = 0.39$ und $r = 0.40$. Bei lang dauernder Hypertonie ist die Beziehung etwas enger, r liegt zwischen 0.53 und 0.54 . Wie die Korrelation unter diesen drei Winkeln zeigt, ist in Gruppe B der Winkel zwischen horizontalem QRS- und T-Flächenvektor ein getreues Maß für den Raumwinkel (Tabelle 21).

	Alle	A	B
$\hat{A} \text{ QRS}_h - \hat{A} \text{ T}_h / \hat{A} \text{ QRS}_f - \hat{A} \text{ T}_f$	0.63	0.58	0.85
$\hat{A} \text{ QRS}_h - \hat{A} \text{ T}_h / \text{Raumwinkel}$	0.76	0.76	0.93
$\hat{A} \text{ QRS}_f - \hat{A} \text{ T}_f / \text{Raumwinkel}$	0.71	0.61	0.84

Tabelle 21:

Korrelation von Raumwinkel, horizontalem und frontalem QRS-T-Winkel untereinander.

A = Gruppe A, Hypertonie bis 5 Jahre

B = Gruppe B, Hypertonie länger als 5 Jahre

Über eine Vergrößerung des Raumwinkels bei Linkshypertrophie berichten z. B. BRISTOW und Mitarbeiter (13), MAZZOLENI und Mitarbeiter (49), WENGER (88), FRAGOYANNIS (24), MASSIE und WALSH (48) und KARNI (38). Angaben über das Wachsen des Winkels zwischen QRS und T mit dem Grad der Linkshypertrophie finden sich bei HÄHNEL (30), mit dem Grad der elektrokardiographischen Veränderungen bei LIBRETTI und Mitarbeiter (44), mit der Schwere des Verlaufs der Krankheit bei ZAKOV (95).

Eine signifikante Korrelation zwischen der Höhe des Blutdrucks und dem Raumwinkel fand RAUTAHARJU bei Gesunden (60) und bei Hypertonikern (58), ebenso NAKAGAWA (54).

Das Verhalten des frontalen QRS-Vektors ist noch besonders hervorzuheben. Bei lang dauernder Hypertonie besteht keine Korrelation mit dem Blutdruck, bei den Gesamtfällen nur eine schwache zum diastolischen Druck ($r = 0.2$; $p < 0.05$). Bei kürzer dauernder Hypertonie dagegen ist die gegen den Uhrzeigersinn erfolgende Anhebung des QRS-Vektors in der frontalen Ebene nach links oben das am engsten mit dem Blutdruck korrelierte vektorielle Kriterium (r für $\hat{A} \text{ QRS}_f / \text{RR}_d$ ist 0.43; $p < 0.01$).

Bei gesunden Männern konnten LUSKIN und WHIPPLE (46) weder für

den diastolischen noch für den systolischen oder auch für den mittleren Blutdruck eine Korrelation mit der Lage der frontalen QRS-Achse nachweisen. Die entsprechenden Korrelationskoeffizienten waren:

QRS-Achse / RR_d	0.09	nicht signifikant
QRS-Achse / RR_s	0.12	nicht signifikant
QRS-Achse / RR	0.12	nicht signifikant (RR = mittlerer Blutdruck)

Auch PACKARD/GRÄTTINGER/GRAYBIEL (56) vermißten beim Vergleich von zeitlich 10 Jahre auseinanderliegenden Elektrokardiogrammen von mehr als 600 jungen Männern, die auch zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung mit ganz wenigen Ausnahmen noch gesund waren, jede Beziehung zwischen der Position der QRS-Achse bzw. der Änderung dieser Achse und dem diastolischen und systolischen Blutdruck. Dagegen fand RAUTAHARJU (58) bei Gesunden mit steigendem Blutdruck eine Anhebung von QRS in der frontalen Ebene, die auch nach der Elimination des Effektes des relativen Körpergewichtes noch bestand. Auch nach SCHLOMKA (68) wächst das Ausmaß der Linksbetonung des Elektrokardiogramms, wie sie in dem von ihm entwickelten Index zum Ausdruck kommt, mit dem arteriellen Blutdruck.

Nach LEPESCHKIN (43) nimmt die Häufigkeit der Linksablenkung der QRS-Achse zwar mit der Erhöhung des Blutdrucks zu, jedoch wird mit steigendem Blutdruck die zahlenmäßige Zunahme immer kleiner. Ausdruck dieser Tatsache könnte unsere Beobachtung sein, daß bei lang dauernder Hypertonie die Korrelation zum Blutdruck fehlt, obwohl der frontale QRS-Vektor gegenüber dem Befund bei kurz dauernder Hypertonie deutlich weiter nach links oben rotiert ist. Dagegen überwiegt bei den Patienten mit einer Krankheitsdauer unter oder höchstens 5 Jahren die mit dem Blutdruck parallel gehende Tendenz zur Anhebung der QRS-Achse. Über dieselbe Annäherung des QRS-Vektors an die Horizontale mit dem Blutdruck berichtet auch NAKAGAWA (54). In ihrer Untersu-

chung von Elektrokardiogrammen bei renalen, arteriosklerotischen und essentiellen Hypertonien fanden BOTTI und Mitarbeiter (11) lediglich bei den Gesamtfällen eine gesicherte Beziehung der Linksablenkung von QRS, und zwar nur zum diastolischen Blutdruck. Der Korrelationskoeffizient war $r = 0.16$; $p < 0.05$.

Einfluß des Körperbaues auf die Kriterien

Die Korrelationsfaktoren der einzelnen Meßgrößen mit dem als Ausdruck für den Körperbau verwendeten Index (P. I.) sind schon in der Tabelle 9 aufgeführt. Sowohl bei den Gesamtfällen als auch bei kurzer Krankheitsdauer sind diese Kriterien dann, wenn eine signifikante Beziehung zum Körperbau besteht, fast immer mit dem P. I. besser als mit dem Blutdruck korreliert. Beim Vergleich der beiden Gruppen mit unterschiedlicher Krankheitsdauer kann man sagen, daß sich der Einfluß des Körperbaus auf die angeführten Amplituden bei kurzer Krankheitsdauer noch durchsetzt, während er bei längerer Dauer der Hypertonie zugunsten des Blutdrucks oder anderer Faktoren zurückgeht.

Von den vektoriellen Kriterien sind nur die Richtung des frontalen QRS-Vektors bei den Gesamtfällen und Gruppe A, der Raumwinkel bei Gruppe A und die horizontale T-Länge bei Gruppe B signifikant mit dem Körperbau korreliert. Für den frontalen QRS-Vektor bedeutet das mit wachsendem Ponderal-Index eine Rotation im Uhrzeigersinn, das heißt, der Vektor verläuft um so steiler nach unten, je hagerer die Patienten sind. Für dieses Kriterium sind die Verhältnisse also wie bei Gesunden: bei schlanken Personen verläuft die QRS-Achse mehr senkrecht, während sie bei Pyknikern zur Querlage neigt, Linksablenkung von QRS ist dementsprechend häufig (SCHÄFER 62, SCHLOMKA 66, 70, SIMONSON 77, HOLZMANN 34). Bei Gesunden

wurde auch nachgewiesen, daß die Variabilität der QRS-Achse über Monate und Jahre mit den Veränderungen des Körpergewichtes korreliert ist, nicht jedoch mit der Herzfrequenz oder dem Blutdruck (LEPESCHKIN 43, PACKARD 56). Über Linksverschiebung des Typenindex mit steigendem Körpergewicht bei Gesunden berichtet auch SCHLOMKA (67).

Nach LUSKIN (46) besteht außerdem bei Gesunden eine Korrelation zwischen elektrischer Herzachse und Ponderal-Index (Tabelle):

LUSKIN und WHIPPLE:	Elektrische Herzachse	/ P.I.	0.33
Eigene Gesamtfälle	: $\hat{A} \text{ QRS}_f$	/ P.I.	-0.31
Gruppe A	: $\hat{A} \text{ QRS}_f$	/ P.I.	-0.39

Daraus geht übereinstimmend hervor: je größer der Ponderal-Index, desto steiler verläuft die QRS-Achse bei Gesunden ebenso wie bei Hypertonikern. (Das negative Vorzeichen in der Tabelle oben kommt durch die unterschiedliche Zählweise zustande.)

Daß auch einige der zur Diagnose der Linkshypertrophie oft verwendeten Amplitudensummen in ihrer Größe bei Gesunden eine definierbare Beziehung zum Körperbau haben, wurde von KILTY und LEPESCHKIN (37) bewiesen (Tabelle 22).

	KILTY	Eigene
$R_I + S_{III}$	-0.31	-
$R_{\max} + S_{\max}$	0.37	0.46
$R_{\max} + S$	0.31	0.38
$SV_1 + RV_{5/6}$	0.17	0.35

Tabelle 22:

Korrelation einiger Amplituden mit dem Ponderal-Index. Vergleich der Werte von KILTY für Gesunde und der eigenen für Hypertoniker.

Die aufgeführten Amplituden aus den präkordialen Ableitungen sind also bei Normalgewicht und noch mehr bei Untergewicht größer als bei Übergewicht. Das trifft auch bei Hypertonikern, besonders im Beginn der Krankheit, zu. Bei langdauernder Hypertonie überwiegen dann offensichtlich andere Einflüsse als die von Körperbau und Körpergewicht.

Die negative Korrelation von $R_I + S_{III}$ mit dem P.I. (= die Summe wächst mit abnehmendem Ponderal-Index oder mit zunehmender Fett-leibigkeit) besteht bei Hypertonikern nicht mehr.

Das Verfahren der partiellen Korrelation liefert Hinweise darauf, daß nach Elimination des Effektes, den der Körperbau hat, zwischen den meisten präkordialen Amplituden und dem Blutdruck eine engere Korrelation besteht.

Einfluß des Lebensalters auf die Kriterien

Die Summe $R_I + S_{III}$, die Amplitude des größten S in V_1 bis V_6 und besonders die vektoriellen Kriterien zeigen bei den Gesamtfällen und, fast durchweg noch besser, bei kurzer Krankheitsdauer eine signifikante Beziehung zum Lebensalter (Tabelle 13).

Bekanntlich nehmen die Amplituden im Elektrokardiogramm im allgemeinen mit dem Alter ab (HOLZMANN 34). Das gilt für die QRS- und T-Amplituden wie für die Vektorgröße. Dies ergeben übereinstimmend die Befunde von NAKAGAWA (53) für die zahlreichen von ihm für die Diagnose der Linkshypertrophie angegebenen Amplitudensummen, von VAQUERO und Mitarb. (87) für R in V_5 und V_6 , von SIMONSON und KEYS (76) sowie WOLFF und Mitarb. (93) für die Indices der linksventrikulären Hypertrophie, von WENGER (89), und von RAUTAHARJU (60) (59) und STRANDELL (82) zugleich für Amplituden und Vektorgrößen. Bei unseren Hypertonikern zeigt lediglich das größte S in V_{1-6} die bei Gesunden vorhandene negative Korrelation mit dem Alter ($r = 0.2$).

$R_I + S_{III}$ dagegen nimmt mit dem Alter zu ($r = 0.20$ bei den Gesamtfällen, $r = 0.40$ bei Gruppe A), ebenso wie in der Untersuchung von KILTY und LEPESCHKIN (39), wo die Mittelwerte für diesen Index mit dem Alter leicht ansteigen.

Bei allen übrigen Amplituden fehlt eine signifikante Beziehung zum Alter. Bei diesen Kriterien üben offensichtlich andere Faktoren, wie Blutdruck und Körpergewicht, einen Einfluß aus, der die bei Gesunden vorhandene Beziehung mit dem Alter überdeckt.

Im Gegensatz dazu sind Alter und Vektorrichtung wieder signifikant korreliert.

Mit zunehmendem Alter hat der frontale QRS-Vektor die Tendenz zur Rotation nach links oben, der T-Vektor dagegen rotiert im entgegengesetzten Sinn nach unten vorne und rechts, der Raumwinkel vergrößert sich.

Die Richtung von QRS in der horizontalen Ebene, deren Veränderung in keiner Gruppe signifikant mit dem Blutdruck korreliert war, zeigt bei den Gesamtfällen die Tendenz, mit zunehmendem Alter in der gleichen Richtung wie T zu rotieren. Eine solche Tendenz kann man auch an den Mittelwerten von RAUTAHARJU (60) für die dort aufgeführten zwei Altersgruppen erkennen. Von der Tendenz des QRS-Vektors, sich mit höherem Lebensalter mehr der Horizontalen zu nähern, berichten HOLZMANN (34), SCHÄFER (62), SCHLOMKA (66, 69), RAUTAHARJU (59, 60), PACKARD (56) und WENGER (89). LUSKIN und WHIPPLE (46) errechneten für Alter und mittlere elektrische Herzachse einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0.325$ bei Gesunden.

Bei Hypertonie, besonders bei noch nicht lange bestehender, erweist sich diese Beziehung als noch enger: r ist bei den Gesamtfällen 0.43 gegenüber 0.57 bei Gruppe A. Nach RAUTAHARJU (59) ist auch die proportional zum Alter erfolgende Abweichung des QRS-Vektors nach links oben bei Hypertonikern stärker als bei normalem Blutdruck. Auch für den Raumwinkel wurde bei Gesunden eine Altersabhängigkeit festgestellt (RAUTAHARJU 59, WENGER 89).

Schaltet man den Einfluß des Alters aus, der in Gruppe A mit kürzer dauernder Hypertonie dem des Blutdrucks teilweise parallel geht, dann findet man, daß die Korrelation mit dem Blutdruck bei einigen Kriterien, wie $R_I + S_{III}$, Größe des horizontalen T-Vektors, Richtung von QRS in der Frontalen, Winkel zwischen QRS und T in der Frontalen und schließlich Größe des Raumwinkels, zahlenmäßig etwas zurückgeht. Das heißt, der alleinige Einfluß des Blutdrucks auf diese Kriterien ist nicht so groß, als es der zusätzliche Einfluß des Lebensalters zunächst vermuten läßt.

ZUSAMMENFASSUNG

Von 100 Patienten mit essentieller und renaler Hypertonie wurden aus den elektrokardiographischen Standardableitungen nach Einthoven, Goldberger und Wilson neun für die Diagnose einer Linkshypertrophie des Herzens in Frage kommende Amplituden bzw. Amplitudensummen und die Flächenvektoren und Differenzwinkel von QRS und T bestimmt. In der frontalen Ebene wurden die Vektoren aus den Extremitätenableitungen nach Einthoven und Goldberger errechnet, in der horizontalen Ebene aus den Brustwandableitungen. Damit ergaben sich insgesamt 18 Kriterien. Für die erhaltenen Werte wurde die Korrelation mit dem Blutdruck, dem Körperbau und dem Lebensalter sowie der Einfluß der Krankheitsdauer untersucht.

1. Bei Hypertonikern ist der mittlere QRS-Vektor mehr nach links hinten gedreht und der Waagrechten angenähert als bei Gesunden. Der mittlere T-Vektor zeigt steiler nach vorne abwärts mit der Tendenz nach rechts. Der Winkel zwischen QRS und T ist in beiden Projektionen vergrößert und damit auch der Raumwinkel. Mit Ausnahme der Richtung des horizontalen QRS-Vektors sind diese Veränderungen bei lange dauernder Hypertonie stärker ausgeprägt als bei kurzer Krankheitsdauer.
2. Jedes elektrokardiographische Kriterium zeigte eine Korrelation zum Blutdruck. Die beste Korrelation zeigte das größte S aus V_1 bis V_6 , dann folgt $R_I + S_{III}$, $R_{max} + S$, $R_{max} + S_{max}$, S in V_1 und $SV_1 + RV_{5/6}$. Die Kriterien aus den Brustwandableitungen waren fast durchweg am besten mit dem mittleren Blutdruck vom Eintrittstag korreliert.
3. Die Korrelation der vektoriellen Zeichen mit dem Blutdruck ist enger. Am besten korreliert ist die Länge von QRS und T in der Horizontalen, und zwar mit dem mittleren Blutdruck vom 3. Klinik-

- tag. Es folgen der Raumwinkel und seine Komponenten QRS-T-Winkel in der frontalen und horizontalen Ebene, die Richtung von T in beiden Ebenen und die des frontalen QRS-Flächenvektors.
4. Die Beziehung von $R_I + S_{III}$, $R_{max} + S$ und $\hat{A} QRS_f$ zum Blutdruck besteht nur bei kurzer Krankheitsdauer. Bei SV_1 , RV_6 und $SV_1 + RV_{5/6}$ besteht eine Beziehung zum Blutdruck nur bei länger dauernder Hypertonie. Hier ist die Beziehung der Amplituden ($r = 0,47$) und besonders der vektoriellen Kriterien ($r = 0,71$) zum Blutdruck viel enger, und zwar durchweg zum systolischen Blutdruck.
 5. Körperbau und EKG: Auch bei Hypertonikern sind fast alle geprüften Amplituden aus den Brustwandableitungen mit dem Körperbau korreliert, meist sogar besser als mit dem Blutdruck. Die Amplituden sind um so größer, je leichter und hagerer die Patienten sind. Bei über fünfjähriger Anamnese fehlt die Korrelation zum Körperbau. Blutdruck und Körperbau sind negativ korreliert. Je niedriger der Gewicht-Längen-Index, das heißt je schwerer und relativ kleiner die Patienten sind, desto höher ist der Blutdruck. Schaltet man rechnerisch den Einfluß des Körperbaus aus, gewinnt man Hinweise darauf, daß die Korrelation der präkordialen Amplituden mit dem Blutdruck bei den Gesamtfällen etwas enger ist als es der zusätzliche Einfluß des Körperbaus erscheinen läßt; ebenso bei RV_5 und RV_6 bei langer Krankheitsdauer.
 6. Lebensalter und EKG: Beziehungen zwischen Lebensalter und EKG bestehen bei $R_I + S_{III}$, S_{max} und besonders bei den vektoriellen Kriterien bei den Gesamtfällen und bei kurzer Dauer der Hypertonie. Schaltet man auch den Alterseinfluß rechnerisch aus, dann zeigt sich, daß die Beziehung einiger vektorieller Kriterien zum Blutdruck wie z. B. Raumwinkel und $\hat{A} QRS_f$ bei kurzer Krankheitsdauer zum Teil nur durch den Alterseinfluß vorge-täuscht wird. Die elektrokardiographischen Kriterien bleiben in ihrer Korrelation mit dem Blutdruck fast durchweg unverändert.

7. Die Beziehung zwischen dem erhöhten Blutdruck und dem Elektrokardiogramm von Hypertonikern zeigt sich in den vektoriellen Kriterien eindeutig besser als in den Amplituden des Elektrokardiogramms.

LITERATURVERZEICHNIS

1. ABEL, H. Arch. Kreislaufforsch. 37: 168, 1962
2. ABEL, H. und IMMEL, E.
Cardiologia 42: 219, 1963
3. ALLENSTEIN, B. J. und MORI, H.
Circulation 21: 401, 1960
4. ANGELAKOS, E. T. und GOKHAN, N.
Cardiologia 42: 337, 1963
5. AYALA Y DE LANDERO, C.
Amer. Heart J. 44: 67, 1952
6. BAEDEKER, W. D., RUDOLPH, W. und HENSELMANN, L.
Z. Kreislaufforsch. 53: 737, 1964
7. BASSINGTHWAIGHTE, J. B., PARKIN, T. W., DuSHANE, J. W.,
WOOD, E. H. und BURCHELL, H. B.
Circulation 28: 893, 1963
8. BILGER, R. Cardiologia 31: 242, 1957
9. BOECKH, E. M. und SCHAEFER, H.
Z. Kreislaufforsch. 41: 310, 1952
10. BOTTI, G., ROSATI, G. und VISIOLI, O.
Cuore e circol. 44: 266, 1960
11. BOTTI, G., VISIOLI, O., ROSATI, G. und ZANZUCCHI, C.
G. clin. med. 40: 1793, 1959
12. BRAUNWALD, E., GOLDBLATT, A., AYGEN, M. M., ROCKOFF, S. D.
und MORROW, A. G.
Circulation 27: 426, 1963
13. BRISTOW, J. D., PORTER, G. A. und GRISHWOLD, H. E.
Amer. Heart J. 62: 621, 1961
14. BRUGISSER, R. und GERTSCH, H. R.
Cardiologia 36: 1, 1960
15. CABRERA, E. und MONROY, J. R.
Amer. Heart J. 43: 669, 1952

16. CUMMING, G. R. und PROUDFIT, W. L.
Circulation 19: 406, 1954
17. DEGLAUDE, L. und LAURENS, P.
Arch. mal. coeur 52: 263, 1959
18. Documenta Geigy, Wissenschaftliche Tabellen 6. Auflage,
Basel 1960
19. DOHRMANN, R. und SCHMITT, W.
Arch. Kreislaufforsch. 25: 255, 1957
20. DOYLE, A. E. Amer. Heart J. 45: 363, 1953
21. DUCHOSAL, P. W. und SULZER, R.
La Vectorcardiographie, Basel und New York,
1949
22. EFFERT, S., KARYTSIOTIS, J., LOOGEN, F. und VETTERMANN, H.
Arch. Kreislaufforsch. 40: 117, 1963
23. FISHER, R. A. Statistische Methoden für die Wissenschaft,
Edinburgh, 1956
24. FRAGOYANNIS, G.
Z. Kreislaufforsch. 53: 294, 1964
25. GEORGOPOULOS, A. I., PROUDFIT, W. L. und PAGE, H.
Circulation 23: 675, 1961
26. GILLMANN, H. Einführung in die vektorielle Deutung des Ekg,
Darmstadt, 1954
27. GRANT, R. P. Circulation 2: 676, 1950
28. GRANT, R. P. und ESTES, E. H.
Spatial Vector Electrocardiography,
Philadelphia 1951
29. GUBNER, R. und UNGERLEIDER, H. E.
Arch. Int. Med. 72: 196, 1943
30. HÄHNEL, H. Das deutsche Gesundheitswesen 15: 816, 1960
31. HEILMEYER, L. und HOLTMEIER, H. J.
Hochdruckforschung, Stuttgart, 1965
32. HEINE, W. I., SACKETT, C. F. und SERBER, W.
Amer. J. M. Sc. 224: 424, 1952

33. HELM, R. A. und FOWLER, N. O.
Amer. Heart J. 45: 835, 1953
34. HOLZMANN, M. Klinische Elektrokardiographie, Stuttgart,
1965
35. HUGENHOLTZ, P. G. und GAMBOA, R.
Circulation 30: 311, 1964
36. JUCHEMS, R. Münch. Med. Wschr. 107: 917, 1965
37. JUCHEMS, R. und BÖRNER, W.
Z. Kreislaufforschg. 53: 287, 1964
38. KARNI, H. S. Amer. Heart J. 56: 518, 1958
39. KILTY, S. E. und LEPESCHKIN, E.
Circulation 31: 77, 1965
40. KLEPZIG, H., DOLL, E. und REINDELL, H.
Z. Kreislaufforschg. 44: 37, 1955
41. KOSSMANN, C. E., BURCHELL, H. B., PRUITT, R. D. und
SCOTT, R. C.
Circulation 26: 1337, 1962
42. LANGNER, P. H. Amer. Heart J. 44: 378, 1952
43. LEPESCHKIN, E. Das Elektrokardiogramm, Dresden und Leipzig,
1942
44. LIBRETTI, A. und ZANCHETTI, A.
Amer. Heart J. 59: 40, 1960
45. LINDER, A. Statistische Methoden für Naturwissenschaftler,
Mediziner und Ingenieure, Basel und Stuttgart,
1960
46. LUSKIN, A. J. und WHIPPLE, G. H.
Ann. Int. Med. 55: 610, 1961
47. MANNING, G. W. und SMILEY, J. R.
Circulation 29: 224, 1963
48. MASSIE, E. und WALSH, T. I.
Clinical Vectorcardiography and Electrocardio-
graphy, Chicago, 1960

49. MAZZOLENI, A., WOLFF, R. und WOLFF, L.
Amer. Heart J. 58: 648, 1959
50. McPHIE, J. Australasian Ann. Med. 7: 317, 1958
51. MURATA, K., KURIHARA, H., HOSODA, S., IKEDA, M. und SEKI, M.
Japan. Heart J. 5: 543, 1964
52. MURATA, K., KURIHARA, H., MATSUSHITA, S., IKEDA, M. und SEKI, M.
Amer. Heart J. 73: 49, 1967
53. NAKAGAWA, A. Shikoku Acta med. 16: 558, 1960
54. NAKAGAWA, A. Shikoku Acta med. 16: 546, 1960
55. OKAMOTO, N., SIMONSON, E. und BLACKBURN, H.
Circulation 31: 719, 1965
56. PACKARD, J. M., GRAETTINGER, J. S. und GRAYBIEL, A.
Circulation 10: 384, 1954
57. PORTHEINE, H. Z. Kreislaufforschg. 44: 368, 1955
58. RAUTAHARJU, P. M. und BLACKBURN, H. W.
Fed. Proceedings 19: 113, 1960
59. RAUTAHARJU, P. M., KARVONEN, M. J. und KEYS, A.
Acta med. scand. 167: 153, 1960
60. RAUTAHARJU, P. M., KARVONEN, M. J. und LEUTHOLD, E.
Acta med. scand. 169: 405, 1961
61. ROSENFELD, I., GOODRICH, C., KASSEBAUM, G., WINSTON, G. und READER, G.
Amer. Heart J. 63: 731, 1962
62. SCHÄFER, H. Das Elektrokardiogramm in Theorie und Klinik,
Berlin, Göttingen, Heidelberg 1951
63. SCHÄFER, H. und HAAS, H. G.
Handbook of Physiology, Section 2, I. 323,
Washington 1962
64. SCHAUB, F. Cardiologia 40: 323, 1962
65. SCHELLONG, F. Verh. dtsch. Ges. inn. Med. 48: 288, 1936

66. SCHLOMKA, G. Z. ges. Inn. Med. 3: 675, 1948
67. SCHLOMKA, G. und BLANKE, H.
Z. klin. Med. 134: 435, 1938
68. SCHLOMKA, G. und HOHLBAUM, H.
Z. klin. Med. 137: 99, 1940
69. SCHLOMKA, G. und KREUTZMANN, H.
Z. klin. Med. 129: 532, 1936
70. SCHLOMKA, G. und RODEWALD, R.
Z. klin. Med. 132: 494, 1937
71. SCHLOMKA, G. und THEISS
Z. klin. Med. 129: 552, 1936
72. SCHRÖDER, R. und SUMRUATRUAMPHOL, N.
Z. Kreislaufforsch. 48: 626, 1936
73. SCOTT, R. C., SEIWERT, V. J., SIMON, D. L. und McGUIRE, J.
Circulation 11: 89, 1955
74. SHELDON, W. H., DUPERTOIS, C. W. und McDERMOTT, E.
Atlas of Men, New York 1954 (nach LUSKIN 44)
75. SIMONSON, E. Circulation 7: 403, 1953
76. SIMONSON, E. und KEYS, A.
Circulation 6: 749, 1952
77. SIMONSON, E. und KEYS, A.
Circulation 9: 105, 1954
78. SIMONSON, E., SCHMITT, D. H. und NAKAGAWA, A.
Circulation Research 7: 296, 1959
79. SIMPSON, F. O. Brit. Heart J. 22: 227, 1960
80. SOKOLOW, M. und LYON, T. P.
Amer. Heart J. 37: 161, 1949
81. SPANG, K. und WELSCH, A.
Dtsch. med. Wschr. 75: 849, 1950
82. STRANDELL, T. Acta med. scand. 174: 479, 1963
83. SYMONS, C. und WAHL, E.
Brit. Heart J. 23: 208, 1961

84. TRETHEWIE, E. R. *Cardiologia* 43: 170, 1963
85. URSCHER, D. L. und ABBEY, D. C.
 Amer. Heart J. 45: 65, 1953
86. URSCHER, D. L. und ABBEY, D. C.
 Amer. Heart J. 44: 372, 1952
87. VAQUERO, M. LIMON LASON, R. und LIMON LASON, A.
 Arch. Inst. Cardiol. Mexico
 (nach HEINE 30)
88. WENGER, R. *Z. Kreislaufforschg.* 47: 1037, 1958
89. WENGER, R. *Klinische Vektorkardiographie*, Darmstadt,
 1956
90. WENGER, R. *Z. Kreislaufforschg.* 50: 91, 1961
91. WILSON, F. N. , ROSENBAUM, F. F. und JOHNSTON, F. N.
 Advances in Internal Medicine, New York
 2: 1, 1947
92. WIRTH-SOLEREDER, R.
 Z. Kreislaufforschg. 53: 471, 1964
93. WOLFF, L. , WOLFF, R. , SAMARTZIS, M. D. , MAZZOLENI, A. ,
 SOFFE, A. M. , REINER, L. und MATSUOKA, S.
 Circulation 23: 861, 1961
94. WOLLHEIM, E. und MÖLLER, J.
 Handbuch der Inneren Medizin, Band 9/5,
 Berlin, Göttingen, Heidelberg 1960
95. ZAKOV, N. *Z. Kreislaufforschg.* 49: 342, 1960
96. ZAPFE, H. , POPPE, A. und BIAMINO, G.
 Z. Kreislaufforschg. 54: 985, 1965

Herrn Privatdozenten Dr. med. R. Juchems möchte ich für die Überlassung des Themas und für seine stete Hilfsbereitschaft bei der Durchführung der Arbeit meinen herzlichen Dank aussprechen.

Herrn Professor Dr. med. H. Franke danke ich ergebenst für die Übernahme des Korreferates.

LEBENS LAUF

Am 11. Juni 1941 wurde ich in Schweinfurt als achttes Kind des Schneidermeisters Friedrich Arenz und seiner Ehefrau Erna, geb. Anding, geboren. Die Volksschule besuchte ich vier Jahre lang in Obbach bei Schweinfurt, anschließend trat ich in das Humanistische Gymnasium in Schweinfurt ein, das ich 1960 nach der Reifeprüfung verließ.

Im Wintersemester 1960 begann ich in Würzburg mit dem Studium der Medizin. Die ärztliche Vorprüfung bestand ich 1963, das medizinische Staatsexamen im Januar 1967 in Würzburg.

Ich versichere ehrenwörtlich, daß ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfaßt und außer der angegebenen Literatur keine weiteren Hilfsquellen benutzt habe.

Ich versichere ehrenwörtlich, daß ich bisher von keiner anderen Seite ein Dissertationsthema zur endgültigen Bearbeitung erhalten habe.

Karl-Otto Arenz

BÖHLER-DRUCK

87 WÜRZBURG, Wirsbergstr. 10

Tel. 5 41 43